

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Rekonstrukce kobkové rozvodny 22 a 6 kV
Reconstruction of Cubicle Substation 22 and 6
kV

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Dirbák**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Rekonstrukce kobkové rozvodny 22 a 6 kV**
Reconstruction of Cubicle Substation 22 and 6kV
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor průmyslových rozvodů.
2. Popis současného stavu rozvodu.
3. Návrh modernizace – varianty.
4. Návrh nových transformátorů.
5. Dimenzování s ohledem na zkratové poměry.
6. Konkrétní návrh vybavení rozvodu.
7. Závěrečné zhodnocení.

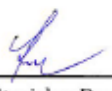
Seznam doporučené odborné literatury:

1. Hradílek, Z.: Elektroenergetika I a II. Skripta VŠB TU 1992 a 1993
2. Santarius, P.: Elektrické stanice a vedení. Skripta VŠB TU 1990
3. Krychtálek Z., Pauza J.: Elektrické stanice SNTL 1989
4. Horák, K.: Výpočet elektrických sítí. SNTL 1980
5. Hodinka, M., Fecko, Š., Němeček, F.: Přenos a rozvod elektrické energie. SNTL 1989 Praha
6. Trojánek, Z., Hájek J., Kvasnica, P.: Přechodové jevy v el. soustavách, SNTL 1988 Praha
7. Normy ČSN, firemní literatura, technická dokumentace.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Jiří Gurecký**

Datum zadání: 01.09.2014
Datum odevzdání: 07.05.2015


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 6. 5. 2015

.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Ing. Jiřímu Gureckému, Ph.D., a Ing. Lukáši Pracnému za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce, dále bych rád poděkoval svým rodičům za podporu během celé doby mého studia.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá rekonstrukcí kobkové rozvodny 22 a 6 kV. V práci je uveden kompletní postup vypracování projektu pro rekonstrukci stávajících rozvodů. V úvodu je uvedena problematika průmyslových rozvodů. Dále je zde popsán stávající stav rozvodny a možnosti její rekonstrukce. Z uvedených možností je zvolena jedna, a ta je vypracována. Celkový návrh se skládá z výpočtu zkratových proudů, jak stávajícího tak nového návrhu rozvodny, návrhu nových transformátorů, kabelů a nakonec z přesného výběru potřebných skříní (rozdávěčů).

Klíčová slova

Rozvodna, rekonstrukce, výpočet zkratových proudů, návrh transformátorů, návrh kabelů, rozváděče VN,

Abstract

The thesis deals with, reconstruction of cubicle substation 22 and 6 kV. The work includes the entire process of developing a project for the reconstruction of the existing substation. In the introduction we analyzed the issue of industrial distribution. Further described here is the current state of the substation and the possibility of its reconstruction. From the options, one is chosen and is developed. Complete design consists of calculating short-circuit currents both existing and new draft substation design of new transformers, cables, and finally to the precise selection of the required boxes (switch-gears).

Key words

Substation, reconstruction, calculation of short circuit current, design of transformers, design of cables, switchgear HV,

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
c	-	Napěťový součinitel
c	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	Měrné teplo
f	Hz	Frekvence
I	A	Proud
I_{vyp}	A	Jmenovitý vypínací proud
I_k	A	Maximální krátkodobý výdržný proud
I_k''	A	Počáteční rázový zkratový proud
I_n	A	Jmenovitý proud
I_{AC}	kA/1s	Ochrana proti vnitřním obloukům
i_p	kA	Nárazový zkratový proud
I_{dov}	A	Dovolený proud
K	-	Nárazový koeficient
l	m	Délka
m	-	Součinitel pro tepelný účinek I_k
n	-	Součinitel pro tepelný účinek I_k
P	W	Činný výkon
P_k	W	Ztráty při zatížení nakrátko
P_0	W	Ztráty při zatížení naprázdno
R	Ω	Činný odpor
S	VA	Zdánlivý výkon
S_k''	VA	Zkratový výkon
S	mm^2	Průřez kabelu
t	s	Čas
U	V	Napětí
U_m	V	Maximální napětí
U_n	V	Jmenovité napětí

u_k	%	Poměrné napětí nakrátko
X	Ω	Reaktance
Z	Ω	Impedance
ρ	$\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$	Měrná rezistivita
β	-	Činitel náročnosti
v	$^{\circ}\text{C}$	Teplota
$\cos \varphi$	$^{\circ}$	Účinník

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam
NN	Nízké napětí
VN	Vysoké napětí
VVN	Velmi vysoké napětí
PTP	Přístrojový transformátor proudu
PTN	Přístrojový transformátor napětí
ČSN	Česká technická norma
LPCT	Lower power current transformer
TR	Transformátor

1 Obsah

Úvod	1
Cíl diplomové práce	1
1. Průmyslové rozvody	2
1.1 Požadavky na průmyslové rozvody	4
1.2 Elektrické stanice	4
1.2.1 Požadavky na schéma zapojení elektrické stanice	4
1.2.2 Členění elektrických stanic	5
1.3 Rozvodná zařízení VN	5
1.4 Kobkové rozvodny VN	7
1.5 Rozváděče VN	10
1.6 Přístroje používané v rozvodech	11
1.6.1 Odpojovač	11
1.6.2 Odpínač	11
1.6.3 Výkonový vypínač	12
1.6.4 Přístrojové transformátory	12
1.6.5 Pojistka	13
2 Stávající stav rozvodny	14
2.1.1 Rozvodna 22kV	14
2.1.2 Rozvodna 6kV	15
2.1.3 Důvody rekonstrukce	16
3 Možnosti rekonstrukce	17
3.1 Zachování kobek - výměna přístrojů, kabelů a transformátorů	17
3.2 Nový návrh rozvodny – rozváděče VN	17
3.3 Nový návrh rozvodny + použití reaktorů	18
4 Výpočet zkratových proudů	19
4.1 Definice pro výpočet zkratů	19
4.2 Vzorce pro výpočet zkratových proudů	22
4.3 Výpočet zkratových proudů původní rozvodny	23
4.3.1 Výpočet rozvodny 22kV	23
4.3.2 Výpočet rozvodny 6 kV	25
5 Návrh rekonstrukce rozvodny	28
5.1 Návrh transformátorů 22/6,3 kV	28
5.2 Návrh transformátorů 6,3/1 kV	29
5.3 Výpočet zkratových proudů nové rozvodny s použitím VN rozváděčů	30
5.3.1 Výpočet rozvodny 22kV	30

5.3.2	Návrh kabelů pro hladinu VN 22 kV.....	32
5.3.3	Výpočet rozvodny 6 kV.....	34
5.3.4	Návrh kabelů pro hladinu VN 6 kV.....	36
6	Konkrétní návrh rozváděčů VN.....	39
6.1	Výběr jednotlivých skříní.....	40
6.1.1	Rozvodna 22 kV.....	40
6.1.2	Rozvodna 6 kV.....	41
6.2	Výběr přístrojů.....	42
6.2.1	Rozvodna 22 kV.....	42
6.2.2	Rozvodna 6 kV.....	45
6.3	Porovnání stávajícího a nového provedení rozvodny.....	47
6.3.1	Stávající stav - kobky.....	47
6.3.2	Stav po rekonstrukci - rozváděče VN.....	47
Závěr:		49

Úvod

V dnešní době se vzhledem ke stáří stávajících rozvoden čím dál více uvažuje o jejich rekonstrukcích. Často se rekonstrukce kobkových rozvoden realizují pomocí rozváděčů VN. Zde záleží v první řadě na požadavku zadavatele rekonstrukce, zda je ochoten provést tak rozsáhlý zásah nebo chce pouze vyměnit staré stávající přístroje za nové. Dalším důvodem mohou být zkratové poměry rozvoden, přístroje pro rozváděče se dělají na menší jmenovité a nárazové zkratové proudy. Z toho plyne hlavní použití pro menší a středně velké rozvodny VN. Častou možností rekonstrukce je zvětšení zkratové impedance pomocí reaktorů. Zařazením reaktorů tak zvýšíme zkratovou impedanci, tudíž snížíme velikost zkratových proudů. Volbu reaktoru se snažíme přizpůsobit potřebám ke snížení parametrů pro přístroje na nejbližší hodnotu z řady. Dnes se snažíme o poměr kobkových rozvoden ke skříňovým rozváděčům 30/70.

Cíl diplomové práce

Cílem diplomové práce bylo navrhnout rekonstrukci starých kobkových rozvoden 22 a 6 kV. Důvodem rekonstrukce bylo hlavně stáří rozvoden a zrušení nebo změna zatížení jednotlivých odběrů. To vedlo k ne hospodárnému provozu a snaze přizpůsobit rozvodnu novým požadavkům.

Požadavkem zadavatele bylo použít přístroje firmy Schneider electric. Důvodem je unifikace rozvodny pro údržbu a možné rozšíření do budoucna.

Postup vypracování

- Uvedení do problematiky průmyslových rozvodů

V první části budou probrány průmyslové rozvody.

- Výpočet zkratových proudů stávajících rozvoden

Výpočtem zkratových proudů stávajícího stavu zjistíme údaje pro nejvhodnější návrh rekonstrukce rozvoden.

- Návrh transformátorů 22/6,3 kV a 6,3/1 kV

Po návrhu nových transformátorů se nám výrazně změní zkratové poměry, což bude nutné znát pro návrh nové rozvodny.

- Provede se výpočet zkratových proudů návrhu nových rozvoden

Výpočet bude proveden s uvažováním nově navržených transformátorů a kabelů.

- Návrh jednotlivých variant rekonstrukce rozvoden.

Stručné popsání výhod a nevýhod jednotlivých variant, které se dnes nejvíce používají.

- Provede se konkrétní návrh rozvodny (výrobce, přesný typ přístrojů, schéma)

Nejdůležitější částí bude výběr jednotlivých skříní (rozdávěčů) a jejich výzbroje. Dále se provede kontrola nově navržených kabelů na tepelné účinky zkratových proudů.

1. Průmyslové rozvody

Rozvoje spotřeby elektrické energie a zahušťování osídlení v městských aglomeracích přináší nové problémy. Objevují se stále větší problémy se spolehlivostí starých sítí, objevuje se potřeba větších transformačních jednotek. Proto se provádějí studie o hospodárném napájení městských aglomerací, optimálním počtu napěťových stupňů, optimální velikosti transformačních jednotek atd.

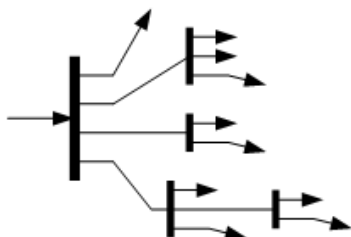
Konfigurace průmyslového rozvodu závisí na:

- počtu, velikosti a umístění zdrojů,
- počtu, velikosti, umístění a důležitosti zdrojů,
- místních podmínkách.

1) Paprskový rozvod

Každý vývod z rozvodny je samostatný a není možné jej zálohovat, tento způsob je laciný, ale zajišťuje malou spolehlivost dodávky. Při poruchách, může být přerušení dodávky dosti dlouhé (až několik hodin).

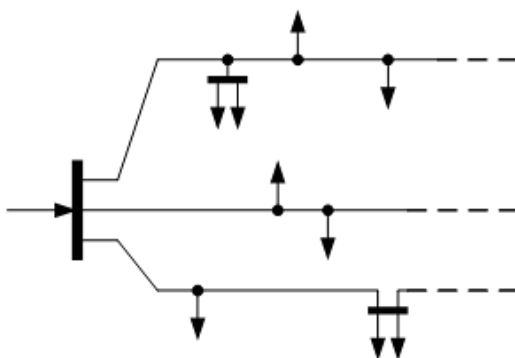
- nejjednodušší, nejlevnější, nejméně spolehlivý,
- používá se v rozvodech s malými nároky na spolehlivý rozvod.



Obr. 1 Paprskový rozvod

2) Průběžný rozvod:

- stejné vlastnosti jako paprskový, dlouhá průběžná vedení (nutná kontrola na úbytek napětí),
- osvětlení komunikací, distribuční vedení na vesnicích, rozlehlé a dlouhé průmyslové haly.

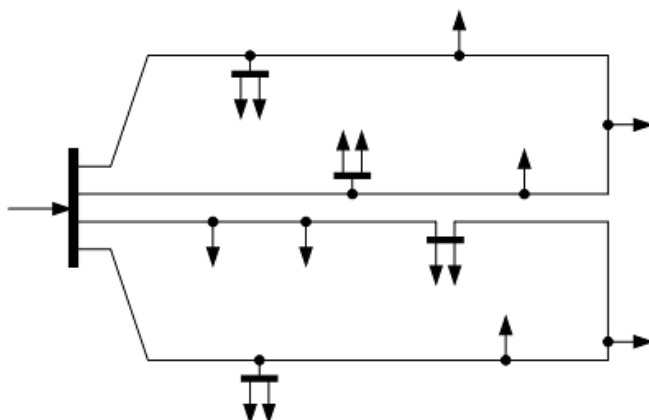


Obr. 2 Průběžný rozvod

3) Okružní (smyčkový) rozvod

Postupným zahušťováním odběru se sítě zahušťovaly a vznikaly sítě okružní. Jednotlivé paprsky sítí jsou vedeny tak, aby se daly navzájem propojit. Sítě jsou obvykle provozovány jako paprskové, ale při poruše v některém úseku lze velice rychle (ručně nebo automaticky) zajistit náhradní napájení. Další výhodou je možnost rovnoměrnějšího rozdělení zatížení na jednotlivé vývody:

- možnost napájení spotřebiče ze dvou stran, při normálním provozu je rozvod rozdělen na 2 paprsky (z důvodu bezpečnosti),
- náročnější spotřebiče (stupeň spolehlivosti 2), větší průmyslové závody, městská bytová zástavba.



Obr. 3 Okružní rozvod

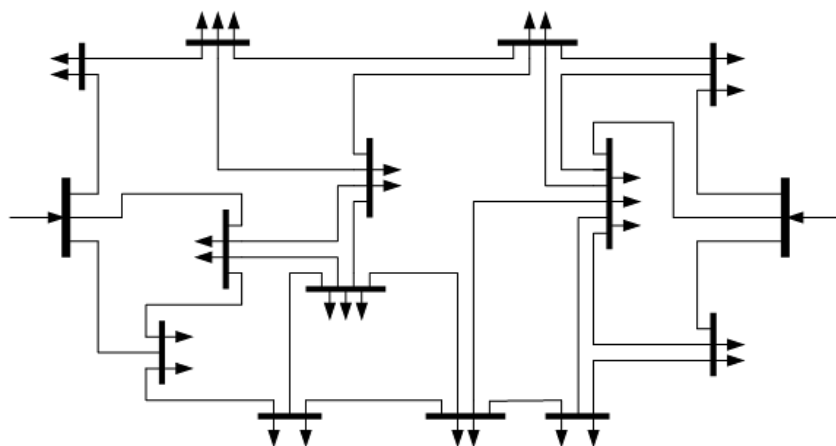
4) Hřebenový rozvod:

- stejné jako u okružního rozvodu

5) Mřížový rozvod

Další zvyšování zatížení vedlo k budování zauzlených sítí, kdy síť je tvořena několika oky a vyskytuje se i více napáječů. Spojovací vedení mezi napáječi často jistí tzv. pojistkami slabé vazby, nejlépe v místě kritického průřezu (nejméně zatížená část) s poloviční jmenovitou hodnotou hlavních pojistek. Při poruše reaguje nejdříve pojistka slabé vazby a pak pojistka v hlavní stanici, čímž se odpojí jen část porušeného vedení.

- více napájecích míst, vysoká variabilita a provozní spolehlivost, vysoké pořizovací náklady, obtížné hledání poruch, nižší nároky na regulaci napětí, malé využití propojek,
- hustá městská zástavba, velké průmyslové objekty, objekty s požadavkem 1. stupně důležitosti dodávky elektrické energie, omezené použití, větší rozšíření kvalitnější diagnostikou.



Obr. 4 Mřížový rozvod

[3]

1.1 Požadavky na průmyslové rozvody

Požadavky na průmyslové rozvody stojí v některých bodech proti sobě a je třeba důkladným odborným a ekonomickým rozbořem určit optimální řešení rozvodného systému.

- bezpečnost osob a vlastního zařízení,
- odolnost proti prostředí,
- automatické odepnutí vadných částí,
- vyloučení rušivých vlivů na vlastní i okolní zařízení,
- možnost rozšíření,
- přizpůsobivost při změnách dispozic,
- přehlednost,
- vzhled,
- využití opakovatelných prvků,
- investiční náklady,
- ztráty a ostatní provozní náklady,
- možnost rychlého odstranění poruch,
- provozní spolehlivost. [1]

1.2 Elektrické stanice

Elektrická stanice je ucelené zařízení uzlu elektrizační soustavy, sloužící buď k transformaci elektrické energie na jiné napětí a k jejímu rozvodu (transformovna), nebo k rozvádění elektřiny téhož napětí (spínací stanice) nebo k přeměně elektrického proudu střídavého na proud o jiném kmitočtu nebo stejnosměrný a k jeho rozvodu (měnična).

1.2.1 Požadavky na schéma zapojení elektrické stanice

Schéma zapojení hlavních (silových) obvodů elektrické stanice má být jednoduché a přehledné a má umožňovat

- přenos dostatečného množství elektrické energie,
- všechny potřebné provozní stavy,

- usnadnění práce obsluhy a údržby,
- dostatečnou spínací pružnost,
- napájení spotřeby ve stanoveném rozsahu i v případě poruchy,
- zjednodušení automatického řízení,
- omezení zkratových proudů na ekonomicky přijatelnou míru.

1.2.2 Členění elektrických stanic

- podle účelu
 - transformovny - transformují napětí,
 - spínací stanice - rozvádějí elektrickou energii téhož napětí,
 - měnirny - k přeměně střídavého proudu na jiný kmitočet nebo stejnosměrný proud.
- podle způsobu obsluhy
 - s trvalou obsluhou,
 - bez obsluhy s pravidelným dozorem,
 - bez obsluhy s dálkovým ovládáním.
- podle provedení
 - vnitřní (i zapouzďené),
 - venkovní,
 - polokryté.

1.3 Rozvodná zařízení VN

Základní rozdělení rozvodných zařízení VN je na venkovní a vnitřní. Venkovní rozvodná zařízení VN se provádějí jako venkovní rozvodny nebo jako skříňové rozváděče, tj. rozváděče opatřené takovým krytím a klimatizací, aby mohly odolávat povětrnostním vlivům. Vnitřní rozvodná zařízení VN se provádí buď jako kobkové rozvodny, nebo jako skříňové rozváděče.

Venkovní rozvodny VN se u nás používají zřídka, jelikož jsou značně náročné na půdorysnou plochu. V úvahu přicházejí jen venkovní rozvodny 35kV. Provádějí se podobně jako venkovní rozvodny 110kV, častěji přichází v úvahu venkovní zařízení pro připojení transformátorů distribučních stanic na stožárech nebo na sloupech s jednoduchým přístrojovým vybavením.

Rozvodná zařízení VN se zprvu stavěla pouze jako rozvodny a jejich provedení se ustálilo na několika osvědčených vzorech. Svému účelu (požadovaným funkcím) plně vyhovovaly pro některé své nesporné výhody

- přehlednost,
- snadný přístup k přístrojům při údržbě,
- možnost provedení dvou i více systémů přípojníc,
- možnost kontroly bez vypínání odboček,
- možnost napojení na kabelová i venkovní vedení.

Vyžadovaly však značný obestavěný prostor, nebylo je možné umístit v průmyslové rozvodně, připouštěly možnost chybné manipulace s odpojovači a nebezpečí vzniku elektrického oblouku, neposkytovaly dostatečnou ochranu obsluhy před nebezpečným dotykovým napětím a nedávaly dobrou možnost prefabrikace v dílně. Vyrůstající spotřeba elektrické energie v průmyslových

závodech způsobovala, že rozsah rozvodu VN velmi rostl jak co do počtu odboček, tak i co do přenášených výkonů. Hospodárnost přenosu vyžadovala, aby rozvodná zařízení byla více posunuta k těžištím konzumace, tj. do výrobních provozů. Rovněž častější používání motorů velkých výkonů si vynutilo rozvod vysokého napětí až do výrobně technologických provozů. Tyto okolnosti nutily projektanty hledat nová řešení rozvodných zařízení, která by těmto podmínkám vyhověla. Bylo třeba vyvinout zařízení, která by byla odolná proti prostředí, ve kterém jsou instalována, která jsou opatřena proti možnosti úrazu nebezpečným dotykovým napětím i osob neznalých a která mají především malé rozměry.

První řešení odpovídala kobkovým rozvodnám opatřenými patřičnými plechovými kryty a dveřmi. Vznikly skříňové rozváděče VN, vyráběné v továrně a na místě montáže pouze usazené a připojené. Použité přístroje, tj. hlavně vypínače a odpojovače byly stejné jako v dosavadních kobkových rozvodnách. Vzhledem k tomu, že ve skříňových rozváděčích není třeba dodržovat předepsané vzdušné vzdálenosti (pokud jako výrobek vyhoví zkouškám předepsanými zkušebními napětími), bylo možné uspořádání přístrojů volit tak, aby skříně byly v porovnání s kobkami značně menší. Tyto skříně se vyráběly s jednoduchými nebo dvojitými přípojnici.

K dalšímu zmenšení rozměrů skříňových rozváděčů došlo použitím výsuvných vypínačů. Výsuvné kontakty nasadily funkci odpojovačů. Toto řešení už neumožňuje dobré použití dvou systémů přípojníc. Dva systémy jsou možné jen při použití přípojniových přepojovačů. Snaha po dalším zmenšení skříňových rozváděčů vedla k novým konstrukčním řešením přístrojů VN, zejména vypínačů a přístrojových transformátorů, které plně přihlížely k jejich aplikaci ve skříňových rozváděčích. Radiální pokrok ve zmenšení rozměrů skříňových rozváděčů VN umožnily nové izolační materiály, zejména epoxidy. Používají se ke konstrukci přístrojů i části rozváděčů a v posledních letech i k plné izolaci přípojníc.[2]



Obr. 5 Rozváděč VN



Obr. 6 Kobková rozvodna VN



Obr. 7 Venkovní rozvodna VVN



Obr. 8 Zapouzdřená rozvodna ZVN

1.4 Kobkové rozvodny VN

Původní rozvodná zařízení VN, stavěná v počátcích minulého století, byly složité kobkové rozvodny, které zaujímaly 3 až 5 poschodí. Každé poschodí bylo určeno pro určité přístroje. Vypínače byly olejové, vyžadovaly složitá opatření jak pro vyteklý olej, tak zejména pro ochranu obsluhujících pracovníků a zařízení před výbuchem vypínače. Rovněž přístrojové transformátory byly olejové. Tyto rozvodny byly velmi nepřehledné.

Kolem roku 1920 se přešlo k dvoupatrovému uspořádání rozvodem, při kterém byly přípojnice s přípojnicovými odpojovači ve vrchním patře, vypínače ve spodním a kabelové vývody s odpojovači ve vrchním patře, vypínače ve spodním a kabelové vývody s odpojovači v suterénu.

Po náhradě olejových vypínačů neolejovými (tlakovzdušnými nebo expanzními) kolem roku 1930 se uspořádání kobkových rozvodů ustálilo na zásadním řešení, zachovaném dodnes a označovaným názvem klasické rozvodny. Jejich konstrukce je tvořena ocelovými profily, vyzdívanými calofrigem, azbestocementovými nebo sádrovými deskami a podobnými materiály, vesměs vyžadujícími zednické práce na místě montáže. Tyto desky tvoří mezistěny, které oddělují jednotlivé odbočky od sebe, brání přeskoku elektrického oblouku z jedné kobky do sousedních kobek a chrání obsluhu pracující v jedné kobce od částí, pod napětím v sousedních kobkách. Ze stejného důvodu byly kobky vybaveny vodorovnými příčkami (strůpky), zejména pro oddělení přípojníc od přípojnicových odpojovačů pro zabránění přenosu elektrického oblouku, eventuálně vzniklého při chybné manipulaci na odpojovačích.

Zpětným působením vývoje na skříňových rozváděcích VN byly i u kobkových rozvodů uplatněny některé nové prvky umožňující zejména jejich co možno největší prefabrikaci v dílně a zmenšení jejich rozměrů. Rovněž snaha po ochraně obsluhujících pracovníků před účinky elektrického oblouku vedla (zejména u zahraničních podniků) k různým zajímavým řešením. [1]

Podle rozsahu vybavení odboček se rozvodny řeší jako jednoprostorové, dvouprostorové (někdy i více prostorové), přičemž uspořádání vývodů a přívodů, zejména venkovních, vyžaduje často řešení s nástěnnými polokobkami. Kobkové rozvodny mohou mít jeden, dva i více systémů přípojníc i přípojnice pomocné.

Kobkové rozvodny s jednoduchými přípojnici se řeší obvykle jako nástěnné. Ušetří se tím na obestaveném prostoru. Při požadavku dvou systémů hlavních přípojníc se část v horním prostoru obvykle řeší podle obr.

Přípojnice jsou obvykle uloženy v horní části kobek. Jsou vytvořeny z hliníkových nebo měděných tuhých tyčí, uložených na podpěrkách nebo v průchodkách. Profilové tuhé vodiče se upevňují na podpěrkách pomocí držáků, různých podle tvaru a průřezu tyčí.

Klasické provedení s 1 systémem přípojníc

Výzbroj je rozdělena do dvou prostorů. V horním prostoru je část s přípojnici, přípojniovými odpojovači a vypínačem. Přípojnice jsou od přípojniových odpojovačů odděleny tzv. strůpky, v nichž jsou umístěny průchodky pro průchod vedení z odbočky na přípojnice. Průchodem v podlaze se prochází do spodního prostoru s vývodovými odpojovači, kabelovými koncovkami a případně i přístrojovými transformátory napětí. V otvoru v podlaze je zakotvena průchodní deska s průchodovými transformátory proudu nebo průchodkami.

Kobky jsou v horním i ve spodním prostoru uzavřeny dveřmi z drátěného pletiva. Pod stropními překlady ve spodním prostoru probíhají kabelové lávky pro uložení ovládacích, měřicích a jisticích obvodů a rozvodu stlačeného vzduchu. V každé kobce odbočují, ventrálně zaústějí do úzké ovládací skříně (v přední části kobek) otvorem v podlaze.

Prostory kobek jsou uzavřeny dvojdílnými dveřmi z drátěného pletiva. Přední část kobky s vypínačem ve spodním prostoru je zakryta ovládací skříní, z níž se průchodem v podlaze prochází do kabelového prostoru na lávky pro ovládací vodiče a tlakovzdušné potrubí.

Zapojení se 2 systémy přípojníc

V jediném prostoru jsou jak přípojnice s přípojniovými odpojovači, tak i vypínače. Otvary v podlaze se přechází průchodní deskou s přístrojovými transformátory proudu na vývody a pomocné přípojnice. Z ovládacích skříní se ovládacími vodiči a tlakovzdušným potrubím prochází otvorem v podlaze na kabelové lávky, oddělené od částí VN mezistěnami.

Hlavní přípojnice W1 a W2 jsou tu uspořádány vodorovně. Jsou od přípojniových odpojovačů odděleny strůpky s průchodkami. Stejně je mezistěnou od prostoru VN oddělena ovládací skřín, která zakrývá přední stranu kobky. Zadní strany kobek, stejně jako nástěnné protikopky a část VN ve spodním prostoru jsou opatřeny dvojdílnými dveřmi z drátěného pletiva.

V rozvodných zařízeních VN je často třeba v některých odbočkách umístit reaktory pro omezení zkratových proudů. Olejové reaktory se umísťují v samostatných komorách podobně jako transformátory. Vzdušné reaktory se umísťují obvykle v prostoru rozvodných zařízení. Jejich umístění tu působí značné obtíže vzhledem k tomu, že jsou značně rozměrné a vzhledem k působení magnetického pole, které při průchodu proudu vytvářejí. Je třeba dbát na to, aby

- vinutí reaktoru nebylo v blízkosti železných konstrukcí, které by se v magnetickém poli cívek reaktoru ohřívaly (nejmenší vzdálenost živých částí reaktoru od železné konstrukce se volí rovná asi polovině průměru reaktoru)
- přívodní vedení k jednotlivým cívkám reaktoru bylo přehledně uspořádané, bezpečně a snadno přístupné
- montáž reaktoru do kobky byla snadná

- v blízkosti reaktoru se nenalézaly kovové předměty, které by mohly být při zkratu vtaženy magnetickým polem dovnitř reaktoru a způsobit tak mezizávitový zkrat.

Reaktory představují v rozvodně zvláštní člen, který narušuje jak konstrukční, tak i stavební řešení rozvodny a působí obtíže při použití typizovaných řešení. Protože reaktory vyžadují více místa, nelze je umístit v každém vývodu. Zatímco vrchní prostor rozvodny může zachovat normální členění kobek, je možné ve spodním prostoru reaktory umístit v kobkách, jejichž šířka je rovná šířce 1,5 až 2 kobek rozvodny. To znamená, že je potřeba upravit pořadí kobek rozvodny tak, aby každá třetí. Eventuálně druhá kobka představovala odbočku bez reaktoru např. kobka měření, spínače přípojníc, vývodů (kabelových i venkovních) bez reaktorů apod. Prostor, v němž jsou umístěny reaktory, musí být vyšší, než je normální kabelový prostor rozvodny. Tím se stavba prodraží. Je-li třeba, aby bylo reaktory vybaveno více odboček, je výhodnější umístit reaktory v samostatné budově.

V průmyslových závodech střední velikosti lze často použít jednodušší rozvodná zařízení, používající namísto vypínačů odpínače s pojistkami. U vstupních středních transformoven, napojených venkovním vedením nebo kabelovou smyčkou na veřejnou rozvodnou síť VN (obvykle 22kV), přicházejí hlavně v úvahu napájecí transformátory do 1000 kVA. Řešení těchto rozveden je velmi jednoduché.

Je-li třeba zajistit provoz veřejné sítě (smyčka) i při poruše na části rozvodny odběratele, dělí se přípojnice podélně odpojovačem. Měřicí transformátory jsou vždy na straně odběratele.

Konstrukce

Kobkové rozvodny se stavějí do jedné, dvou i více řad podle počtu kobek a uspořádání prostoru, který je k dispozici. Při tom se musí dodržet šířky chodeb.

Živé části rozveden (části pod napětím) musí být od chodeb pro obsluhu odděleny pevnými nebo odnímatelnými kryty, zákrytovými dveřmi nebo zábradlím. Používají se vesměs dveře z plného plechu nebo z drátěného pletiva. Šířky dveří se volí podle šířek kobek. Nápis pro označení kobek se nacházejí na dveřích. Zábradlí se používá jen v rozvodnách bez stále obsluhy.

Všechna zařízení, potřebná pro ovládání, jsou umístěna v ovládacích skříních. Tyto skříně tvoří u volně stojících kobek přední stěnu kobky. Pokud jsou užší než kobky, doplují se na šířku kobek zákrytovými plechy. U nástěnných kobek jsou zapuštěny do prostoru kobky a přisazeny k pravé dělicí mezistěně příslušné kobky.

Ovládací skříně jsou dodávány na místo montáže kompletně vybavené a zapojené. Na čelní stěně jsou opatřeny dveřmi s označením (názvem) kobky a případně slepým schématem zapojení kobky, do něhož jsou vestavěny ovládací a návěstní prvky.

Konstrukce kobkových rozveden VN musí splňovat základní požadavek na rozvodny, přehlednost a přístupnost. Zejména musí umožnit pozorování stavu odpojovačů.

Při projektování kobkových rozveden je třeba pamatovat i na dostatečný počet záložních odboček pro možnost dodatečného napojení dalších podružných rozvodných zařízení, eventuálně spotřebičů. Záložní kobky se obvykle vybavují alespoň přípojnícovými odpojovači.

Přípojnice a odbočky v kobkových rozvodnách VN

Jsou-li kobky rozvodny umístěny ve dvou nebo více řadách, musí se propojit přípojnice mezi jednotlivými řadami.

1.5 Rozváděče VN

Rozváděče VN se vyvinuly z kobkových rozvodů VN zásluhou používání vysokého napětí přímo do průmyslových provozů. Elektrická energie se musela vysokým napětím přivést přímo do těžiště konzumu, jednak pro hospodárnost přenosu, jednak proto, že neustále narůstal počet motorů VN.

Bylo třeba vyvinout rozvodné zařízení, které by bylo opatřeno dostatečným krytím jak vzhledem k nečistotám ve výrobních provozech, tak i vzhledem ke skutečnosti, že k němu mají přístup i osoby neznalé.

První řešení se podobala kobkovým rozvodnám a měla stejné přístrojové vybavení. Kovová konstrukce byla opatřena plechovými kryty. Přístroje byly montovány pevně, jednotlivá pole a někdy i přípojnicový prostor byly odděleny plechovými mezistěnami. Přesnější dílenská výroba umožňovala zmenšení rozměrů. K podstatnému zmenšení mohlo dojít, když se opustily předepsané vzdušné vzdálenosti živých částí a namísto toho se zařízení podrobovalo zkouškám příslušnými zkušebními napětími.

Rušivým prvkem ve skříňových rozváděčích byly odpojovače, jednak jejich rozměry vyžadovaly značný prostor, jednak ztrácel smysl jejich hlavní význam, totiž viditelné rozpojení proudové dráhy

Přechodem na výsuvné vypínače se od odpojovačů upustilo úplně. Pouze na rozváděčích se 2 systémy přípojníc je nutné použít přepojovače nebo podobné přístroje.

Výsuvné kontakty, do nichž vypínač zasouvá, nahradily funkci odpojovačů. Pro vysunutí a zasunutí vypínače do těchto kontaktů platí stejné blokovací podmínky.

Tím, že se upustilo od odpojovačů, bylo možné podstatně zmenšit rozměry skříní VN. Zprvu byly výsuvné kontakty montovány na podvozek vypínače, vypínač se na podvozek montoval stejně jako do kobky. Další zmenšování skříní vyžadoval speciální řešení vypínačů i ostatních přístrojů. Účelným řešením přístrojů a použitím zoxidovaných pryskyřic bylo dosaženo pozoruhodných výsledků.

Pro zachování bezpečnosti zařízení se prostory skříňových rozváděčů navzájem oddělují kovovými mezistěnami tak, aby eventuální vzniklý elektrický oblouk zůstal omezen na místo svého vzniku.

Výzkumy týkající se účinků zkratových proudů a zejména elektrického oblouku vedly konstruktéry k různým řešením, umožňujícím uvolnění vzniklého tlaku směrem, kde není nebezpečný obsluze, tj. směrem nahoru.

Moderní řešení rozváděčů VN s výsuvnými vypínači bez odpojovačů jsou ovšem možná jen s jednoduchými přípojnícemi. Při řešení s dvojitými přípojnícemi vznikají konstrukční komplikace (umístění přepojovačů) a narůstají rozměry skříní. Proto někteří výrobci od výroby se dvěma systémy přípojníc upouštějí a doporučují řešení se dvěma vypínači na odbočku.

Vývoj skříňových rozváděčů VN důsledně sleduje zvyšování provozní bezpečnosti, větší ochranu provozních pracovníků a zmenšení obestavěného prostoru. V porovnání s kobkovými rozvodnami mají tyto výhody:

- možnost sériové a přesné výroby v továrně,
- možnost rychlé výměny vypínačů,
- lepší ochrana obsluhy a v poslední plně izolovaná provedení i lepší ochranu proti vzniku elektrického oblouku,
- možnost umístění v provozu,
- jednoduchá doprava,
- možnost snadného rozšíření.

[1]

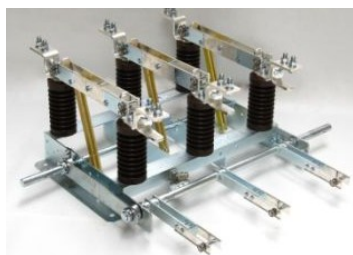
1.6 Přístroje používané v rozvodech

1.6.1 Odpojovač

Odpojovače slouží v rozvodných zařízeních k bezpečnému a viditelnému odpojení proudovodné dráhy. To je nutné pro opravy, údržbu nebo změnách na zařízení. Odpojovači lze spínat obvody pod napětím, nesmí se jimi však vypínat ani zapínat zatížení. Jsou buď jednopólové, nebo trojpólové. V rozvodných zařízeních VVN se většinou používají jednopólové, v rozvodných zařízeních VN a NN trojpólové. Pohony bývají buď ruční, tlakovzdušné nebo dnes již elektromotorické pohony. Do vývodů se používají odpojovače s uzemňovači, kterými lze příslušné svorky odpojovačů uzemnit. Jejich pohon bývá stejný jako u odpojovačů.

Volba odpojovačů závisí na:

- nejvyšší napětí,
- jmenovitý proud,
- jmenovitý kmitočet,
- krátkodobý nadproud,
- dynamický proud.



Obr. 9 Výkonový odpojovač

1.6.2 Odpínač

Funkcí se odpínače řadí mezi spínače a odpojovače. Slouží k bezpečnému a viditelnému rozpojení proudového obvodu, navíc je možné jimi vypínat jmenovité proudy a v některých případech i menší zkratový výkon. Ovládání bývá ruční nebo tlakovzdušné. Vypnutí lze dosáhnout i dálkově pomocí vypínacího magnetu, cívky na podpětí nebo použít elektromotorický pohon.



Obr. 10 Výkonový odpínač

1.6.3 Výkonový vypínač

Vypínače slouží k zapínání a vypínání proudových obvodů pod zatížením. Spínáme jimi elektrický výkon. Poněvadž v případě poruchy vypínají i přetížený a zkratový proud, musí být na tyto proudy dimenzovány (bezpečně vypnout). Podle rozvodného zařízení se volí vypínače venkovní nebo vnitřní. Podle funkčního principu se dělí na olejové, maloolejové, kapalinové, tlakovzdušné, tlakoplynové (SF6), vakuové a plynotvorné.

Vypínače volíme podle následujících parametrů:

- nejvyšší napětí U_m ,
- jmenovitý proud,
- jmenovitý kmitočet,
- jmenovité zotavené napětí,
- jmenovitý vypínací proud I_{vyp} ,
- jmenovitý zapínací proud,
- krátkodobý proud (musí vydržet alespoň 2 s),
- dynamický proud.



Obr. 11 Výkonový vypínač

1.6.4 Přístrojové transformátory

Tyto transformátory slouží k transformaci ve vhodném rozsahu hodnoty proudu nebo napětí hlavního obvodu (primárního) s požadovanou přesností na hodnoty vhodné pro měřicí a jisticí přístroje.

Jsou-li určeny pro měření elektrických veličin, jsou to měřicí transformátory, jsou-li určeny pro připojení jisticích relé, jsou to transformátory jisticí. Dělíme je podle provedení na vnitřní a venkovní. Podle druhu izolace na olejové, vzduchové, zalévané, porcelánové apod.



Obr. 12 Přístrojový transformátor

1.6.5 Pojistka

Pojistky jistí elektrický obvod pomocí tavného vodiče, který je při nadproudu nebo zkratu přetaven velikostí proudu. Doba, za kterou dojde k přerušení oblouku, udávají výrobci v podobě vypínacích charakteristik. Rychlost vypnutí závisí na velikosti poruchového proudu. Výhodou pojistek je omezení zkratového proudu (přeruší zkratový proud dříve, než dosáhne své maximální hodnoty). Zařízení v obvodu za pojistkou postačí pak dimenzovat na proud I_{pm} , který pojistka propustí. Nevýhodou pojistek je, že přeruší obvod pouze v jedné fázi. Tudíž je výhodná kombinace odpínač - pojistka, kdy se při přetavení jedné pojistky uvolní volnoběžka odpínače a ten vypíná ve všech fázích.



Obr. 13 Pojistka VN

[1]

2 Stávající stav rozvodny

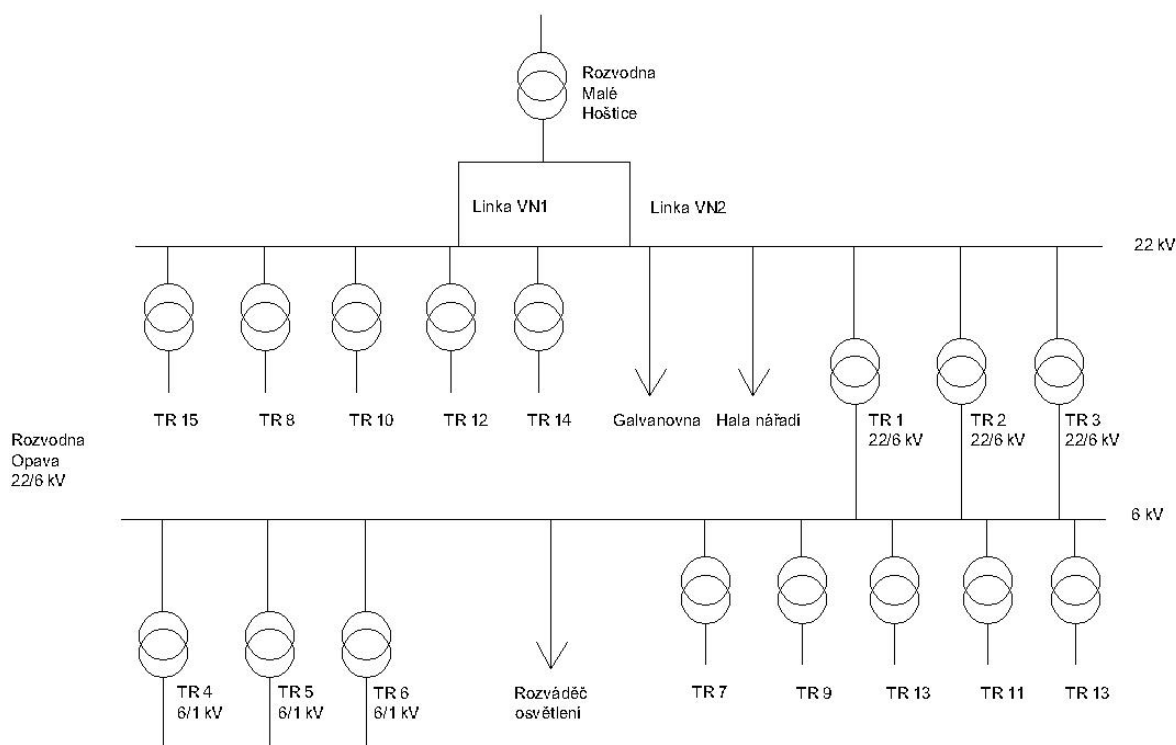
Jedná se o podnikovou rozvodnu. Je tvořena zděnou budovu, ve které je několik rozvoden. Rozvodna se nachází v Opavě, přesné místo nebylo sděleno.

1. Hlavní - kobkové , rozvodny, kterými se zabývá tato práce.
2. Ostatní - rozvodny jsou tvořeny rozváděči.

Hlavní rozvodna je v přízemí a je podsklepená. Ve sklepení jsou kabelové rošty pro uložení VN kabelů. Tedy přívody i odvody jsou provedeny spodem.

Napájení rozvodny je ze dvou VN linek z rozvodny v Malých Hošticích. Schéma rozvodny je na Obr. 10.

Bližší informace o rozvodně ani název podniku nebyl sdělen.



Obr. 14 Schéma Rozvodny v Opavě s přívodem z Malých Hoštic

2.1.1 Rozvodna 22kV

Rozvodna s napětovou hladinou 22kV se skládá ze 16 kobek, z nichž dvě slouží jako přívodní, jedna jako podélná spojka, další slouží pro měření a zbylých 12 kobek je vývodových. Většina kobek je jištěna pomocí výkonového odpínače, pouze 3 kobky, které slouží, jako napájení 6 kV rozvodny jsou jištěny pojistkami. Pro napájení 6 kV rozvodny jsou zde použité 3 transformátory 22/6,3kV s jmenovitým výkonem 1250kVA. Jako další jdou zde transformátory 22/0,4 kV a 4 vývody pro napájení průmyslových odběrů (galvanovna a hala nářadí). Dále jsou známe odběry jednotlivých kobek, kobky mají celkem odběr 293A, z čehož polovinu tvoří odběr rozvodny 6 kV. Jmenovitý proud na přípojnici je potom 293 A.

Tab. 1 Vstupní údaje rozvodny 22 kV

Kobky						
číslo	typ	směr	jištění	kabel	odběr	TR
1	přívodní	linka VN1	v. odpínač	3x240, 250m		-
2	přívodní	linka VN2	v. odpínač	3x240, 250m		-
3	podélná spojka		v. odpínač	-		-
4	měření		-	-		-
5	vývodové	TR2	v. odpínač	3x150, 300m	13 A	630 kVA
6	vývodové	TR4	v. odpínač	3x150, 175m	12 A	630 kVA
7	vývodové	TR10	v. odpínač	3x240, 1500m	16 A	800 kVA
8	vývodové	TR12	v. odpínač	3x240, 900m	18 A	800 kVA
9	vývodové	TR15	v. odpínač	3x240, 1100m	18 A	800 kVA
10	vývodové	galvalovna	v. odpínač	3x120, 1200m	21 A	-
11	vývodové	galvalovna	v. odpínač	3x120, 1200m	20 A	-
12	vývodové	hala náradí	v. odpínač	3x240, 600m	13 A	-
13	vývodové	hala náradí	v. odpínač	3x240, 600m	12 A	-
14	vývodové	TR1	pojistky	3x50, 20m		22/6 kV; 1250 kVA
15	vývodové	TR11	pojistky	3x50, 20m		22/6 kV; 1250 kVA
16	vývodové	TR15	pojistky	3x50, 20m		22/6 kV; 1250 kVA

2.1.2 Rozvodna 6kV

Rozvodna s napětíovou hladinou 6kV je tvořena 13 kobkami. Z toho tři slouží jako přívodní, jedna slouží pro měření a zbylých 9 jako vývodové. Většina kobek je opět jištěna výkonovými odpínači až na kobky 7,8 a 9, které jistíme pojistkami. Pro tyto 3 kobky, tvořené transformátory 6,3/1 kV známe jmenovitý odběr proudu, který přepočtený na primární stranu je 300A. Pokud přičteme ostatní odběry, dostaneme celkový jmenovitý odebíraný proud na přípojnici 525 A.

Tab. 2 Vstupní údaje rozvodny 6 kV

Kobky						
číslo	typ	směr	jištění	kabel	odběr	TR
1	přívodní	TR1	výkonový odpínač	3x240, 20m	-	-
2	přívodní	TR2	výkonový odpínač	3x240, 20m	-	-
3	přívodní	TR3	výkonový odpínač	3x240, 20m	-	-
4	vývodové	TR7	výkonový odpínač	3x240, 250m	24 A	400 kVA
5	vývodové	TR9	výkonový odpínač	3x150, 90m	89 A	1000 kVA
6	vývodové	TR13	výkonový odpínač	3x150, 135m	63 A	800 kVA
7	vývodové	TR4	pojistky	3x120, 20m	380 A	6/1 kV; 630 kVA
8	vývodové	TR5	pojistky	3x240, 20m	520 A	6/1 kV; 1000 kVA
9	vývodové	TR6	pojistky	3x150, 20m	395 A	6/1 kV; 630 kVA
10	vývodové	rozdávěč osvětlení	výkonový odpínač	3x120, 20m	10 A	-
11	měření	-	-	-	-	-
12	vývodové	TR8	výkonový odpínač	3x240, 230m	63 A	800 kVA
13	vývodové	TR10	výkonový odpínač	3x240, 230m	64 A	800 kVA

2.1.3 Důvody rekonstrukce

- Nutné přizpůsobení stávajícím provozům (některé provozy jsou již zrušeny, některé naopak rozšířeny).
- Stávající transformátory jsou již zastaralé a při měřeních vykazují vysoké ztráty, dále jejich zatížení není optimální (jsou přetěžovány).

3 Možnosti rekonstrukce

U všech možností budou společné 2 věci a to:

1. Nutnost výměny kabelového vedení
2. Nutnost výměny transformátorů 22/6,3 a 6,3/1 kV

3.1 Zachování kobek - výměna přístrojů, kabelů a transformátorů

Jako nejsnadnější po rekonstrukční stránce se jeví zachování rozvodny ve stávajícím stavu s výměnou starých přístrojů za nové a výměny transformátorů, které již vykazují příliš velké ztráty a jejich zatížení není optimální. Toto řešení je sice z rekonstrukční stránky jednodušší, ale zase dražší než použití moderních rozváděčů VN.

Z výběru běžně používaných přístrojů lze zjistit, že jsou vyráběny pro větší proudové zatížení. To nás vede k druhé možnosti rekonstrukce, která je výhodnější pro menší proudy.

3.2 Nový návrh rozvodny – rozváděče VN

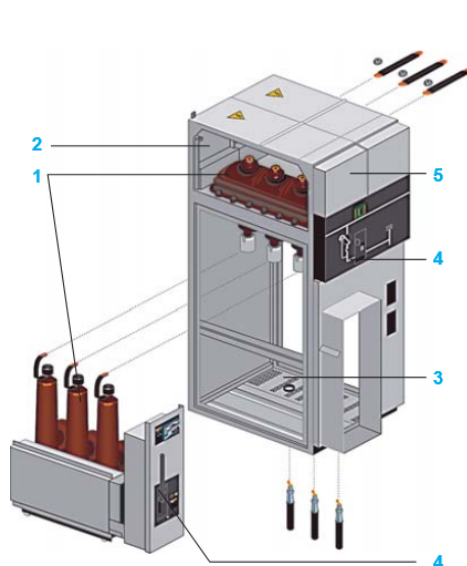
Obě rozvodny nevykazují velké zkratové proudy, a proto se jeví vhodné použití minimalizace tj. rozváděče VN. Použitím rozváděčů VN se znatelně zmenší náklady, zastavěný prostor rozvodny, nepřetržitost provozu, zvýšení bezpečnosti osob i zařízení. Další výhodou je možnost snadného rozšíření přidáním nových skříní.

Výběr rozváděčů SM6 24 společnosti Schneider electric

Parametry:

- jmenovitý proud I_r : 400 - 630 - 1250 A,
- jmenovité napětí U_r : 7,2 - 12 17,5 - 25 kV,
- maximální krátkodobý výdržný proud I_k : 12,5 - 16 - 20 - 25 kA / 1 s,
- ochrana proti vnitřním obloukům IAC: - 16 kA 1 s.

Příklad prefabrikovaných skříní:



Skříně s SF6 vypínačem

1 – Spínací zařízení: odpojovač(e) a uzemňovač(e) v zapouzdření naplněném SF6, které splňuje požadavky na „trvale utěsněné zařízení“.

2 – Přípojnice: všechny ve stejné horizontální rovině, takže je umožněno pozdější rozšiřování rozvodny i připojování ke stávajícím zařízením.

3 – Oddíl přívodů a vypínače: přístupný zepředu, připojování ke spodním svorkám vypínače.

Je možné volit mezi dvěma typy vypínačů

■ SF1: vypínač vybavený ochranou a standardními proudovými měniči (s nebo bez pomocného napájení).

■ SFset: vypínač vybavený nezávislou ochranou a speciálními senzory (bez nutnosti pomocného napájení).

4 – Ovládací mechanismus: obsahuje prvky pro ovládání odpojovače(ů), vypínače a uzemňovače a zajištění indikace jejich stavu.

5 – Oddíl nízkého napětí: instalace pomocných relé, přechodových svorkovnic a digitálních ochrann. V případě požadavků na větší prostor je možné na vrchní stranu skříně umístit přídavnou nástavbu nn.

Volitelné příslušenství: viz kapitola „Parametry funkčních skříní“.

3.3 Nový návrh rozvodny + použití reaktorů

Ve většině dnešních rekonstrukcí dojdeme výpočtem zkratových proudů k závěru, kde se vyplatí snížit zkratové proudy. Snížení zkratových proudů se nejčastěji provádí zvýšením zkratové reaktance a to zapojením reaktorů. Použití reaktorů nám sice zvýší investiční a trochu i provozní náklady, ale vzhledem k možnosti použití přístrojů s menším proudovým zatížením se tato varianta vyplatí. K tomu přispívá i lepší technologie výroby reaktorů, které vykazují menší ztráty. V dnešní době je tato možnost rekonstrukce jedna z nejrozšířenějších. Používá se hlavně v případech, kde zadavatel nechce provést velké zásahy a investici do rekonstrukce.

Zbytek návrhu by byl stejný tj. použití rozváděčů VN s použitím přístrojů z nižší proudové řady.

Vybrána bude možnost č. 2 tj. nový návrh rozvodny pomocí rozváděčů bez použití reaktorů.

4 Výpočet zkratových proudů

Pro samotný výpočet zkratových proudů bude potřeba stručné uvedení do problematiky a vzorce pro jejich výpočet.

4.1 Definice pro výpočet zkratů

1. **zkrat:** náhodné nebo úmyslné vodivé spojení mezi dvěma nebo více vodivými částmi vedoucí k tomu, že rozdíl elektrických potenciálů mezi těmito vodivými částmi je roven nule nebo má hodnotu blízkou nule.
2. **mezifázový zkrat:** náhodné nebo úmyslné vodivé spojení mezi dvěma nebo více vodiči se spojením na zem nebo bez něj.
3. **zkrat mezi fází a zemí (jednofázový zkrat):** náhodné nebo úmyslné vodivé spojení mezi vodičem a zemí v soustavě s uzlem uzemněným přímo nebo přes malou impedanci.
4. **zkratový proud:** nadproud v důsledku zkratu v elektrickém obvodu.
5. **předpokládaný zkratový proud:** proud, který by protékal obvodem, kdyby byl zkrat nahrazen ideálním spojením se zanedbatelnou impedancí bez změny napájení
6. **souměrný zkratový proud:** efektivní hodnota střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu se zanedbatelnou eventuální aperiodickou složkou proudu
7. **počáteční souměrný rázový zkratový proud I_k'' :** efektivní hodnota střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu, při konstantní impedanci
8. **počáteční souměrný rázový zkratový výkon S_k'' :** pomyslná hodnota definovaná jako součin počátečního souměrného zkratového proudu I_k'' , jmenovitého napětí sítě U_n a součinitele $\sqrt{3}$: Pak tedy $S_k'' = \sqrt{3} U_n I_k''$
9. **stejnoseměrná (aperiodická složka $i_{d.c.}$ zkratového proudu:** střední hodnota horní a dolní obalové křivky průběhu zkratového proudu klesající ze své počáteční hodnoty k nule, podle obr. 5 a 6
10. **nárazový zkratový proud i_p :** maximální možná okamžitá hodnota předpokládaného zkratového proudu
11. **souměrný zkratový vypínací proud I_p :** efektivní hodnota úplné periody souměrné složky předpokládaného zkratového proudu v okamžiku oddělení kontaktů prvního pólu spínacího zařízení
12. **ustálený zkratový proud I_k :** efektivní hodnota zkratového proudu, který zůstává po odeznění přechodného jevu
13. **jmenovité napětí sítě U_n :** sdružené napětí, kterým je síť označena a k němuž se vztahují provozní charakteristiky
14. **napětí ekvivalentního zdroje $cU_n/\sqrt{3}$:** napětí ideálního zdroje přiložené v místě zkratu v sousledné složkové soustavě pro výpočet zkratového proudu, jedná se o jediné aktivní napětí sítě

15. **napět'ový součinitel c:** poměr mezi napětím ekvivalentního napět'ového zdroje a jmenovitým napětím sítě U_n děleným $\sqrt{3}$; hodnoty jsou uvedeny v tabulce

POZNÁMKA Uvedený napět'ový součinitel c je nutný z následujících důvodů:

- kolísání napětí v závislosti na čase a místě,
- přepínání odboček transformátorů,
- zanedbání zátěže a kapacitních reaktancí při výpočtu,
- chování generátorů a motorů při přechodném ději.

16. **elektricky vzdálený zkrat:** zkrat, při kterém velikost souměrné složky předpokládaného zkratového proudu zůstává v podstatě konstantní

17. **elektricky blízký zkrat:** zkrat, při kterém příspěvek alespoň jednoho synchronního stroje k předpokládanému počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu překračuje dvojnásobek jmenovitého proud stroje, nebo zkrat, při kterém příspěvek asynchronních motorů překračuje 5% počátečního souměrného rázového zkratového proudu I_k'' bez motoru

18. **sousledná zkratová impedance $Z_{(1)}$ trojfázové střídavé soustavy:** impedance sousledné složkové soustavy viděna z místa zkratu

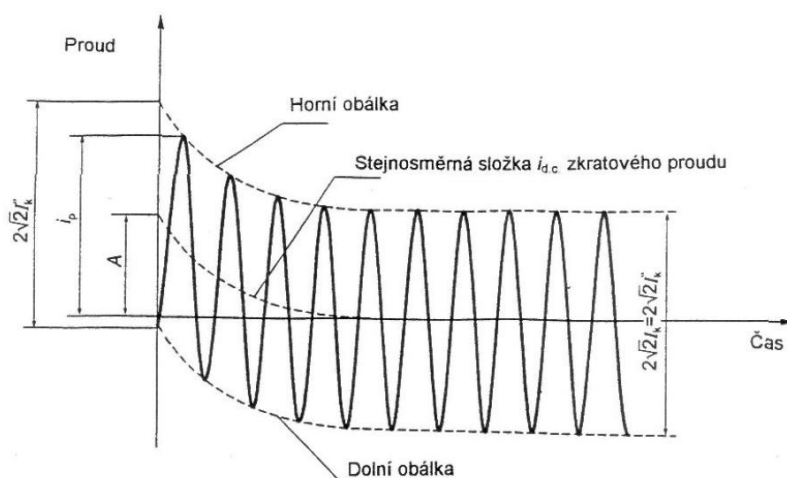
19. **zkratová impedance Z_k trojfázové střídavé soustavy:** zkráceně označení pro souslednou zkratovou impedance $Z_{(1)}$ pro výpočet proudů při trojfázovém zkratu

20. **ekvivalentní oteplovací zkratový proud I_{th} :** efektivní hodnota proudu, který má stejné tepelné účinky a stejnou dobu trvání jako skutečný zkratový proud, který může obsahovat stejnosměrnou složku a s časem se mění.[4]

Charakteristiky zkratových proudů - výpočetní metoda

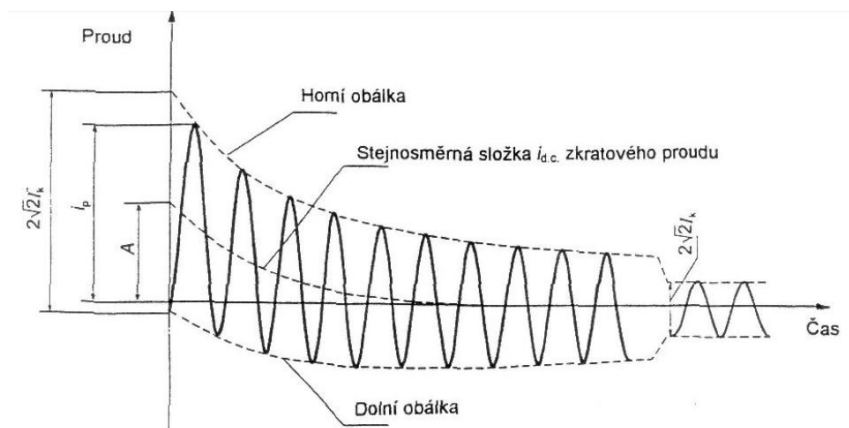
Všeobecně

Kompletní výpočet zkratových proudů určuje proudy jako funkce času v místě zkratu od počátku zkratu až do jeho konce. Zkratové proudy odpovídají okamžité hodnotě napětí na počátku zkratu (viz obrázek 5 a 6).



Obr. 15 Zkratový proud elektricky vzdáleného zkratu s konstantní střídavou složkou (schematický diagram)

Ve většině praktických případů takovýto výpočet není nutný. Podle použití výsledků nás zajímá efektivní hodnota souměrné střídavé složky a nárazový zkratový proud i_p zkratového proudu po vzniku zkratu. Nejvyšší hodnota i_p závisí na časové konstantě zanikající aperiodické složky a kmitočtu f , tedy na poměru R/X nebo X/R zkratové impedance Z_k a s určitou přibližností lze předpokládat, že je jí dosahováno tehdy, jestliže zkrat začíná v okamžiku, kdy napětí prochází nulou. Proud i_p též závisí na klesající souměrné střídavé složce zkratového proudu.



Obr. 16 Zkratový proud elektricky blízkého zkratu s klesající střídavou složkou (schematický diagram) [5]

Tab. 3 - Napěťový součinitel c

Jmenovité napětí U_n	Napěťový součinitel c pro výpočet	
	maximálních zkratových proudů	minimálních zkratových proudů
nízké napětí 100V až 1000 V (IEC 60038, tabulka I)	1,05 ³⁾ 1,10 ⁴⁾	0,95
vysoké napětí > 1 kV až 35 kV (IEC 60038, tabulka III)	1,10	1,00
Velmi vysoké napět >35 kV (IEC 60038, tabulka IV)		
1) $c_{\max} U_n$ by neměl překročit nejvyšší napětí U_m pro zařízení energetických soustav.		
2) Pokud není jmenovité napětí definováno potom $c_{\max} U_n = U_m$ nebo $c_{\min} U_n = 0,90 \times U_m$.		
3) Pro soustavy nízkého napětí s tolerancí +6%, například pro soustavy přecházející z 380 V na 400 V.		
4) Pro soustavy nízkého napětí s tolerancí +10%		

4.2 Vzorce pro výpočet zkratových proudů

Základní vztahy pro výpočet zkratových proudů ve fyzikálních jednotkách

Počáteční rázový zkratový proud I_{k3}'' při trojfázovém zkratu

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{(1)}|} \quad [kA, -, kV, \Omega]$$

Počáteční rázový zkratový proud I_{k2}'' při dvoufázovém zkratu

$$I_{k2}'' = \frac{c \cdot U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)}|} \quad [kA, -, kV, \Omega]$$

Počáteční rázový zkratový proud I_{k1}'' při jednofázovém zkratu

$$I_{k1}'' = \frac{c \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}|} \quad [kA, -, kV, \Omega]$$

c - napěťový činitel

U_n - jmenovité sdružené napětí sítě v místě zkratu

$Z_{(1)}$ - výsledná sousledná impedance zkratového obvodu

$Z_{(2)}$ - výsledná zpětná impedance zkratového obvodu

$Z_{(3)}$ - výsledná nulová impedance zkratového obvodu

Určování sousledných parametrů prvků soustavy ve fyzikálních jednotkách

Soustava (nadřazená síť)

$$Z_{(1)} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_k''} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_k} \quad [\Omega]$$

U_n - jmenovité sdružené napětí v kV nahrazované sítě

c - napěťový činitel

I_k'' - počáteční rázový zkratový proud v kA příspěvku soustavy při trojfázovém zkratu

S_k - zkratový výkon soustavy v MVA při trojfázovém zkratu

Tlumivky omezující zkratový proud (reaktory)

$$Z_{(1)} = \frac{10 \cdot u_R \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_k''} \quad [\Omega, \%, kV, A]$$

u_R - impedanční napětí reaktoru

U_n - jmenovité sdružené napětí reaktoru

I_n - jmenovitý proud reaktoru

Rezistanci reaktoru můžeme proti jeho reaktanci zanedbat, neboť je nepatrná ($R = 0,01X$) takže

$$Z_{(1)} = X_{(1)}$$

Kabely

$$X_{(1)} = X_k \cdot l_k \quad [\Omega, \Omega / km, km]$$

$$R_{(1)} = R_k \cdot l_k \quad [\Omega, \Omega / km, km]$$

X_k - reaktance sousledné složky kabelu

R_k - rezistance sousledné složky kabelu

l - délka vedení

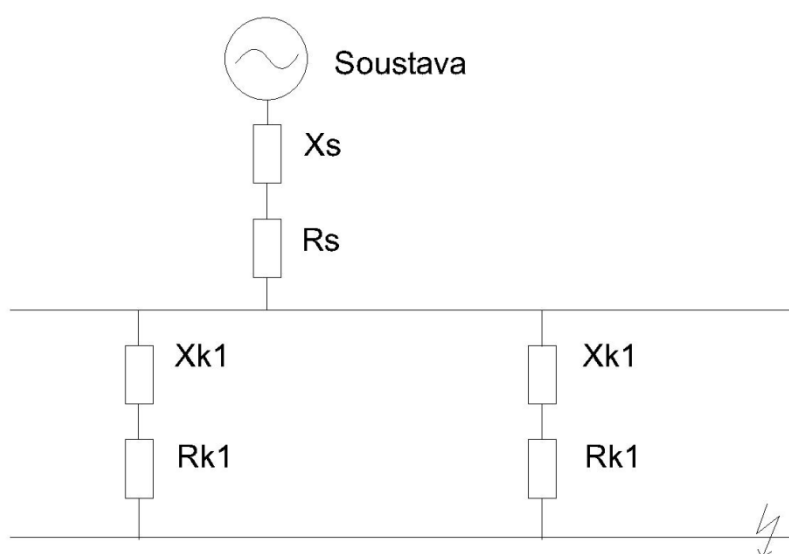
Výsledná impedance

$$Z = \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2}$$

[5] [4]

4.3 Výpočet zkratových proudů původní rozvodny

4.3.1 Výpočet rozvodny 22kV



Obr. 17 Náhradní schéma sousledných impedancí

Výpočet impedancí, reaktancí a činných odporů soustavy a kabelů

podle ČSN 60909-0

- není známa hodnota R_Q a X_Q volím podle normy $R_Q = 0,1 \cdot X_Q$, $X_Q = 0,995 \cdot Z_Q$

reaktance a činný odpor soustavy

$$Z_S = \frac{c \cdot U_n^2}{\sqrt{3} \cdot I_k} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_k} = \frac{1,1 \cdot 22^2}{650} = \underline{\underline{0,819 \Omega}}$$

$$X_S = 0,995 \cdot Z_S = \underline{\underline{0,815 \Omega}}$$

$$R_S = 0,1 \cdot X_S = \underline{\underline{0,0815 \Omega}}$$

reaktance a činný odpor kabelů

Tab. 4 Parametry kabelu ANKTOPV

parametry kabelu			
typ kabelu	průřez kabelu (mm ²)	činný odpor R (Ω/km)	reaktance X (Ω/km)
22-ANKTOPV	240	0,129	0,088

$$X_{lkab} = X_{kk1} \cdot I_k = 0,088 \cdot 0,25 = \underline{\underline{0,022 \Omega}}$$

$$R_{lkab} = R_{kk1} \cdot I_k = 0,129 \cdot 0,25 = \underline{\underline{0,0323 \Omega}}$$

výsledná impedance

$$Z_{22} = \sqrt{\left(R_S + \frac{R_{kab}}{2}\right)^2 + \left(X_S + \frac{X_{kab}}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(0,0815 + \frac{0,022}{2}\right)^2 + \left(0,815 + \frac{0,0323}{2}\right)^2} = \underline{\underline{0,832 \Omega}}$$

počáteční rázový zkratový proud pro 3-f zkrat:

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{22}|} = \frac{1,1 \cdot 22}{\sqrt{3} \cdot 0,832} = \underline{\underline{16,8 \text{ kA}}}$$

nárazový zkratový proud

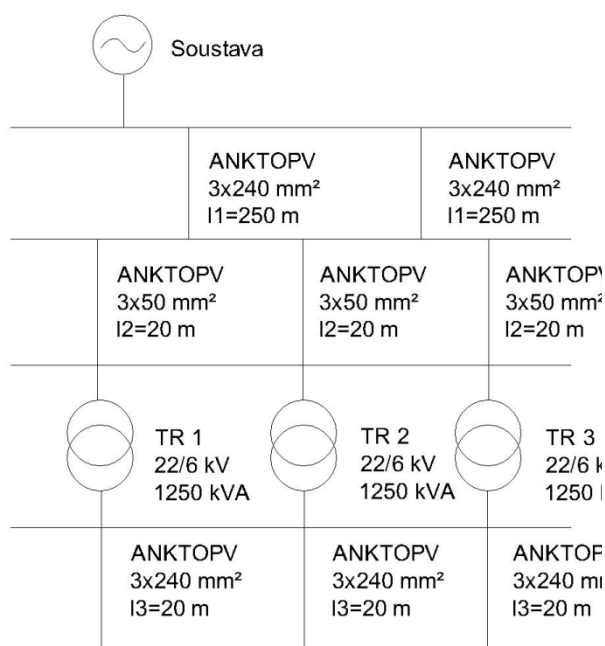
Činný odpor R a reaktance X jsou získány z celkové Impedance Z_{22}

$$K = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3\left(\frac{R}{X}\right)} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3\left(\frac{0,093}{0,831}\right)} = \underline{\underline{1,7}}$$

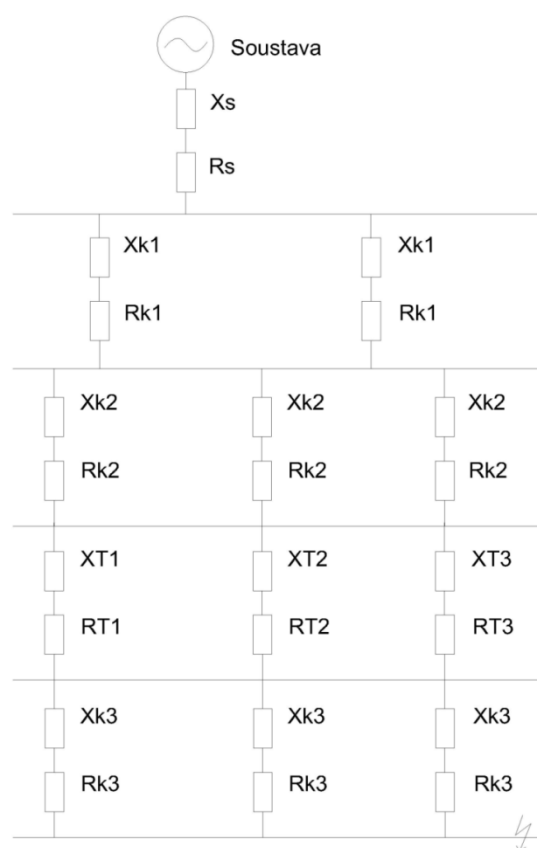
$$i_p = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,7 \cdot \sqrt{2} \cdot 16,8 = \underline{\underline{40,4 \text{ kA}}}$$

4.3.2 Výpočet rozvodny 6 kV

Pro výpočet budeme potřebovat schéma, které bude odpovídat zapojení pro zkrat na přípojnici. Pro lepší představu bude kromě schématu s náhradními impedancemi uvedeno i klasické schéma sítě.



Obr. 18 Schéma sítě při zkratu na přípojnici 6 kV



Obr. 19 náhradní schéma činných odporů a reaktancí

reaktance a činný odpor soustavy:

$$Z_{s1} = \frac{c \cdot U_n^2}{\sqrt{3} \cdot I_k} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_k} = \frac{1,1 \cdot 22^2}{650} = \underline{\underline{0,819 \Omega}}$$

přepočet na napětíovou hladinu 6 kV:

$$Z_s = Z_{s1} \cdot \left(\frac{U_{nt}}{U_n} \right)^2 = 0,8191 \cdot \left(\frac{6}{22} \right)^2 = \underline{\underline{0,0609 \Omega}}$$

$$X_S = 0,995 \cdot Z_S = \underline{\underline{0,0606 \Omega}}$$

$$R_S = 0,1 \cdot X_S = \underline{\underline{0,0061 \Omega}}$$

reaktance a činný odpor transformátorů:

$$Z_T = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{6 \cdot 6^2}{100 \cdot 1,25} = \underline{\underline{1,728 \Omega}}$$

$$R_T = \frac{P_{knT} \cdot U_{nT}^2}{S_{nT}^2} = \frac{0,0115 \cdot 6^2}{1,25^2} = \underline{\underline{0,265 \Omega}}$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{1,73^2 - 0,331^2} = \underline{\underline{1,708 \Omega}}$$

reaktance a činný odpor kabelů:

Tab. 5 Parametry kabelu ANKTOPV

parametry kabelu			
typ kabelu	průřez kabelu (mm ²)	činný odpor R (Ω/km)	reaktance X (Ω /km)
22-ANKTOPV	240	0,129	0,088
22-ANKTOPV	50	0,619	0,116
10-ANKTOPV	240	0,129	0,078

$$X_{1kab} = X_{kk1} \cdot l_{k1} = 0,088 \cdot 0,25 \cdot \left(\frac{6}{22}\right)^2 = 0,0016 \Omega$$

$$R_{1kab} = R_{kk1} \cdot l_{k1} = 0,129 \cdot 0,25 \cdot \left(\frac{6}{22}\right)^2 = 0,0024 \Omega$$

$$X_{2kab} = X_{kk2} \cdot l_{k2} = 0,116 \cdot 0,02 \cdot \left(\frac{6}{22}\right)^2 = 0,000173 \Omega$$

$$R_{2kab} = R_{kk2} \cdot l_{k2} = 0,619 \cdot 0,02 \cdot \left(\frac{6}{22}\right)^2 = 0,000921 \Omega$$

$$X_{3kab} = X_{kk3} \cdot l_{k3} = 0,078 \cdot 0,02 = 0,0016 \Omega$$

$$R_{3kab} = R_{kk3} \cdot l_{k3} = 0,129 \cdot 0,02 = 0,0026 \Omega$$

výsledná impedance

$$Z_6 = \sqrt{\left(R_s + \frac{R_{kab1}}{2} + \frac{R_{kab2}}{3} + \frac{R_{kab3}}{3} + \frac{R_T}{3}\right)^2 + \left(X_s + \frac{X_{kab1}}{2} + \frac{X_{kab2}}{3} + \frac{X_{kab3}}{3} + \frac{X_T}{3}\right)^2} =$$
$$= \sqrt{\left(0,0061 + \frac{0,0024}{2} + \frac{0,00092}{3} + \frac{0,0026}{3} + \frac{0,0265}{3}\right)^2 + \left(0,0606 + \frac{0,0016}{2} + \frac{0,000173}{3} + \frac{0,0016}{3} + \frac{1,708}{3}\right)^2} = \underline{\underline{0,6386 \, \Omega}}$$

počáteční rázový zkratový proud pro 3-f zkrat:

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_6|} = \frac{1,1 \cdot 6}{\sqrt{3} \cdot 0,6386} = \underline{\underline{5,97 \, kA}}$$

nárazový zkratový proud

$$i_p = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,7 \cdot \sqrt{2} \cdot 5,97 = \underline{\underline{14,35 \, kA}}$$

5 Návrh rekonstrukce rozvodny

5.1 Návrh transformátorů 22/6,3 kV

Při návrhu nových transformátorů, bude nutné přejít na vyšší hladinu napětí a to z 6 kV na 6,3 kV.

Transformátor má nevyšší účinnost při polovičním zatížení, ale z důvodu velkých investic se volí kompromis mezi provozní účinností a investičními náklady. Z praxe se volí součinitel náročnosti v rozmezí $\beta = 0,6 - 0,8$

Stávající TR jsou 3 x 1250 kVA

Tab. 6 Parametry transformátorů 22/6 kV

Transformátor	Jmenovitý odběr	Výkon
TR1	175 A	1250 kVA
TR2	175 A	1250 kVA
TR3	175 A	1250 kVA

jmenovitý odběr na straně 6 kV $\sum I_z = 525 \text{ A}$

Součinitel náročnosti bude zvolen $\beta=0,75$

Činný a zdánlivý výkon přenášený transformátory:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 6300 \cdot 525 \cdot 0,95 = 5,4 \text{ MW}$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{3} \cdot 6300 \cdot 525 = 5,67 \text{ MVA}$$

Potřebný výkon nových transformátorů:

$$S_T = \frac{P}{\beta \cdot \cos \varphi} = \frac{5,4 \cdot 10^6}{0,75 \cdot 0,95} = 7,57 \text{ MVA}$$

$$\frac{1}{2} S_T = 3,8 \text{ MVA} \quad \frac{1}{3} S_T = 2,52 \text{ MVA} \quad \frac{1}{4} S_T = 1,88 \text{ MVA}$$

Z daného výpočtu vyplývá, že dosavadní transformátory jsou přetěžovány a je nutno tedy zvolit nové výkonnější. Nabízí se možnost zvolit stejný počet jako je stávající a to 3 s výkonem 2,5 MVA každé, nebo 2 transformátory o výkonu 4 MVA každé. Pro větší rezervu výkonu budou vybrány transformátory 2 x 4MVA, tato volba bude výhodnější i vzhledem k ušetření skříně, kabelů a prostoru.

5.2 Návrh transformátorů 6,3/1 kV

Stávající TR jsou 2 x 630 kVA a 1 x 1000 kVA

Tab. 7 Parametry transformátorů 6/1 kV

Transformátor	Jmenovitý odběr	Výkon
TR4	380 A	630 kVA
TR5	520 A	1000 kVA
TR6	395 A	630 kVA

Součinitel náročnosti bude zvolen $\beta=0,75$

Transformátor 4

Činný a zdánlivý výkon přenášený transformátorem:

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 1000 \cdot 380 \cdot 0,95 = 625 \text{ kW}$$

$$S_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{3} \cdot 1000 \cdot 380 = 658 \text{ kVA}$$

Potřebný výkon nového transformátoru:

$$S_{T1} = \frac{P}{\beta \cdot \cos \varphi} = \frac{625 \cdot 10^3}{0,75 \cdot 0,95} = 877 \text{ kVA}$$

Transformátory nejblíže z řady jsou 1000 kVA nebo 800 kVA. Vybrán bude transformátor 1000 kVA, transformátor bude mít velkou rezervu do budoucna a zároveň dobrou provozní účinnost, vzhledem k menšímu zatížení.

Transformátor 5

Činný a zdánlivý výkon přenášený transformátorem:

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 1000 \cdot 520 \cdot 0,95 = 856 \text{ kW}$$

$$S_2 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{3} \cdot 1000 \cdot 520 = 900 \text{ kVA}$$

Potřebný výkon nového transformátoru:

$$S_{T3} = \frac{P}{\beta \cdot \cos \varphi} = \frac{856 \cdot 10^3}{0,75 \cdot 0,95} = 1,2 \text{ MVA}$$

Transformátor nejblíže z řady je 1,25 MVA, který bude mít do budoucna dostačující rezervu.

Transformátor 6

Činný a zdánlivý výkon přenášený transformátorem:

$$P_3 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 1000 \cdot 395 \cdot 0,95 = 650 \text{ kW}$$

$$S_3 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{3} \cdot 1000 \cdot 520 = 684 \text{ kVA}$$

Potřebný výkon nového transformátoru:

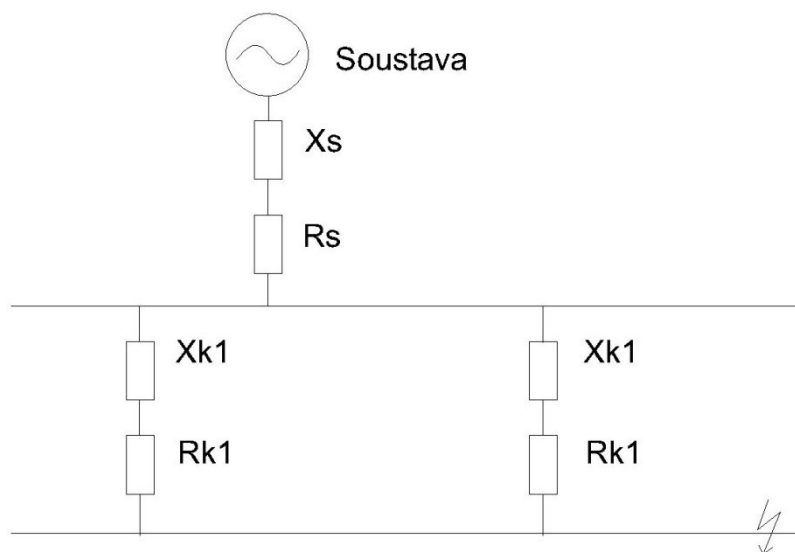
$$S_{T3} = \frac{P}{\beta \cdot \cos \varphi} = \frac{650 \cdot 10^3}{0,75 \cdot 0,95} = 912 \text{ kVA}$$

Transformátor nejbliže z řady je 1 MVA, který bude mít do budoucna dostačující rezervu.

Z výpočtu zatížení je vidět, že transformátory 6,3/1 kV nejsou optimálně zatížené. Nejsou tak moc přetěžovány jako transformátory 22/6,3 kV, ale i zde bude nutné zvolit výkonnější pro hospodárné zatížení. Transformátory 22/6,3 mají firmy na skladě většinou repasované, nové transformátory bychom museli objednat na zakázku, zvláště to platí pro transformátory 6,3/1 kV ty se běžně nevyrábějí. Transformátory budou objednány u firmy Kočí-Valášek s.r.o..

5.3 Výpočet zkratových proudů nové rozvodny s použitím VN rozváděčů

5.3.1 Výpočet rozvodny 22kV



Obr. 20 Náhradní schéma sousledných impedancí

Výpočet impedancí, reaktancí a činných odporů soustavy a kabelů

podle ČSN 60909-0

- není známa hodnota R_Q a X_Q volím podle normy $R_Q = 0,1 \cdot X_Q$, $X_Q = 0,995 \cdot Z_Q$

reaktance a činný odpor soustavy:

$$Z_s = \frac{c \cdot U_n^2}{\sqrt{3} \cdot I_k} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_k} = \frac{1,1 \cdot 22^2}{650} = \underline{\underline{0,819 \Omega}}$$

$$X_s = 0,995 \cdot Z_Q = \underline{\underline{0,815 \Omega}}$$

$$R_s = 0,1 \cdot X_Q = \underline{\underline{0,0815 \Omega}}$$

reaktance a činný odpor kabelů:

Tab. 8 Parametry kabelu AXEKCE

parametry kabelu			
typ kabelu	průřez kabelu (mm ²)	činný odpor R (ohm/km)	reaktance X (ohm/km)
22-AXEKCE	185	0,164	0,16

$$X_{1kab} = X_{kk1} \cdot I_k = 0,16 \cdot 0,25 = \underline{\underline{0,04 \Omega}}$$

$$R_{1kab} = R_{kk1} \cdot I_k = 0,164 \cdot 0,25 = \underline{\underline{0,041 \Omega}}$$

výsledná impedance:

$$Z_{22} = \sqrt{\left(R_s + \frac{R_{kab}}{2}\right)^2 + \left(X_s + \frac{X_{kab}}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(0,0815 + \frac{0,041}{2}\right)^2 + \left(0,815 + \frac{0,04}{2}\right)^2} = \underline{\underline{0,8412 \Omega}}$$

počáteční rázový zkratový proud pro 3-f zkrat:

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{22}|} = \frac{1,1 \cdot 22}{\sqrt{3} \cdot 0,8412} = \underline{\underline{16,6 kA}}$$

nárazový zkratový proud

Činný odpor R a reaktance X jsou získány z celkové Impedance Z_{22}

$$K = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3\left(\frac{R}{X}\right)} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3\left(\frac{0,102}{0,835}\right)} = \underline{\underline{1,7}}$$

$$i_p = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,7 \cdot \sqrt{2} \cdot 16,6 = \underline{\underline{39,9 kA}}$$

[10] [5]

5.3.2 Návrh kabelů pro hladinu VN 22 kV

Jmenovitý odběr na straně 22 kV je 293 A, pro rezervu budeme počítat se jmenovitým proudem nejbližší v řadě tj. 400A. Z hlediska hospodárnosti ověříme zatížení přívodních vodičů, ale stěžejní bude dimenzování dle tepelných účinků zkratových proudů. Důvodem je hladina napětí VN, na které netečou tak velké proudy. Pro příklad jmenovité proudy přívodů budou 200A a vývodů potom 20-100 A.

Volím kabel 22-AXEKCE – 185 mm²

- $R_k=0,164 \Omega/\text{km}$
- $X_k=0,16 \Omega/\text{km}$
- $v=90^\circ\text{C}$
- $v=250^\circ\text{C}$

Parametry kabelu:

$\rho_{20} \dots \text{odpor při teplotě } 20^\circ\text{C} [\Omega\text{mm}^2/\text{m}] = 0,02941$

$v_f \dots \text{fiktivní teplota } [^\circ\text{C}] = 228$

$c_0 \dots \text{specifické teplo } [\text{J}/\text{cm}^3/^\circ\text{C}] = 2,417$

$v_1 \dots \text{maximální provozní teplota vodiče } [^\circ\text{C}] = 90$

$v_k \dots \text{maximální teplota vodiče při zkratu } [^\circ\text{C}] = 250$

[12]

1. Dimenzování z hlediska hospodárnosti

Z hlediska hospodárnosti ověříme pouze přívodní kabely (největší jmenovité proudy). Pro první výpočet z hlediska hospodárnosti budeme předpokládat normální provoz (rozdělení proudu rovnoměrně na oba přívody). Druhým výpočtem zjistíme zatížení při výpadku 1 z přívodních linek. Maximální zatížení vodiče je 494 A.

$$\text{normální provoz} \quad \text{zatížení} = \frac{I_p}{I_{dov}} \cdot 100 = \frac{200}{494} \cdot 100 = \underline{\underline{40,5\%}}$$

$$\text{výpadek 1 přívodu} \quad \text{zatížení} = \frac{I_p}{I_{dov}} \cdot 100 = \frac{400}{494} \cdot 100 = \underline{\underline{81\%}}$$

Splňuje podmínku zatížení $< 50\%$ při normálním provozu a zároveň nepřekročí maximální zatížení při výpadku 1 přívodu.

2. Dimenzování podle tepelných účinků zkratového proudu

náhradní zkratová impedance (kabel délky 20m):

$$Z_c = Z_s + Z_{K1} + Z_{K2} = \sqrt{\left(R_s + \frac{R_{K1}}{2} + R_{K2}\right)^2 + \left(X_s + \frac{X_K}{2} + X_{K2}\right)^2} =$$

$$\sqrt{\left(0,0815 + \frac{0,0313}{2} + 0,0025\right)^2 + \left(0,815 + \frac{0,04}{2} + 0,0032\right)^2} = \underline{\underline{0,844 \Omega}}$$

Počáteční rázový zkratový proud pro 3-f zkrat:

$$I_{K3}'' = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot Z_c} = \frac{1,1 \cdot 22000}{\sqrt{3} \cdot 0,844} = \underline{\underline{16,655 \text{ kA}}}$$

ekvivalentní oteplovací proud:

Z normy ČSN-EN-60909-0 určíme součinitele $m + n = 1$ Toto platí pro elektricky vzdálené zkraty s dobou trvání zkratu více než 0,5s.

$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{m+n} = 16,655 \cdot \sqrt{1} = \underline{\underline{16,655 \text{ kA}}}$$

minimální průřez kabelu:

$$S_{\min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{\sqrt{\frac{c_0 \cdot 20 + g_f}{\rho_{20}} \ln \frac{g_f + g_k}{g_f + g_1}}} = \frac{16,655 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1}}{\sqrt{\frac{2,417 \cdot (20 + 228)}{2941 \cdot 10^{-5}} \cdot \ln \left(\frac{228 + 250}{228 + 90} \right)}} = \underline{\underline{181 \text{ mm}^2}}$$

náhradní zkratová impedance (délka kabelu 1000m):

$$Z_c = Z_s + Z_{K1} + Z_{K2} = \sqrt{\left(R_s + \frac{R_{K1}}{2} + R_{K2}\right)^2 + \left(X_s + \frac{X_K}{2} + X_{K2}\right)^2} =$$

$$\sqrt{\left(0,0815 + \frac{0,0313}{2} + 0,164\right)^2 + \left(0,815 + \frac{0,04}{2} + 0,16\right)^2} = \underline{\underline{1,03 \Omega}}$$

Počáteční rázový zkratový proud pro 3-f zkrat:

$$I_{K3}'' = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot Z_c} = \frac{1,1 \cdot 22000}{\sqrt{3} \cdot 1,03} = \underline{\underline{13,57 \text{ kA}}}$$

Ekvivalentní oteplovací proud:

$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{m+n} = 13,57 \cdot \sqrt{1} = \underline{\underline{13,57 \text{ kA}}}$$

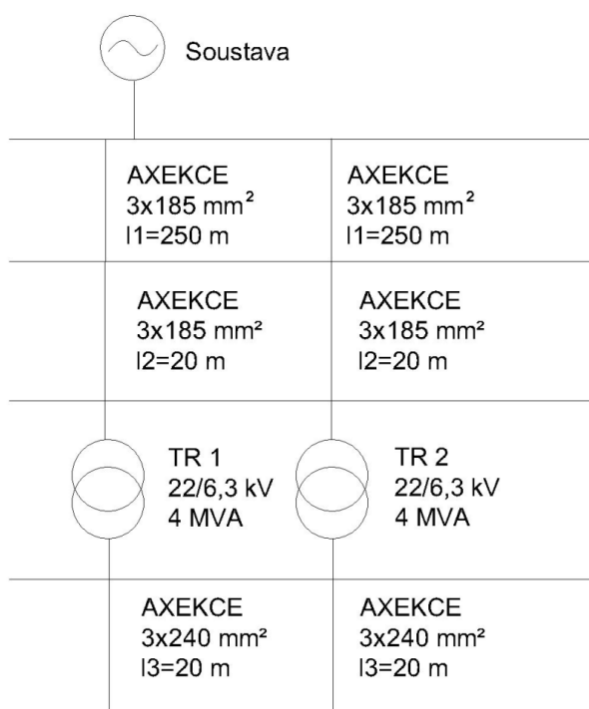
minimální průřez kabelu:

$$S_{\min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{\sqrt{\frac{c_0 \cdot 20 + \vartheta_f}{\rho_{20}} \ln \frac{\vartheta_f + \vartheta_k}{\vartheta_f + \vartheta_1}}} = \frac{13,57 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1}}{\sqrt{\frac{2,417 \cdot (20 + 228)}{2941 \cdot 10^{-5}} \cdot \ln \left(\frac{228 + 250}{228 + 90} \right)}} = \underline{\underline{148 \text{ mm}^2}}$$

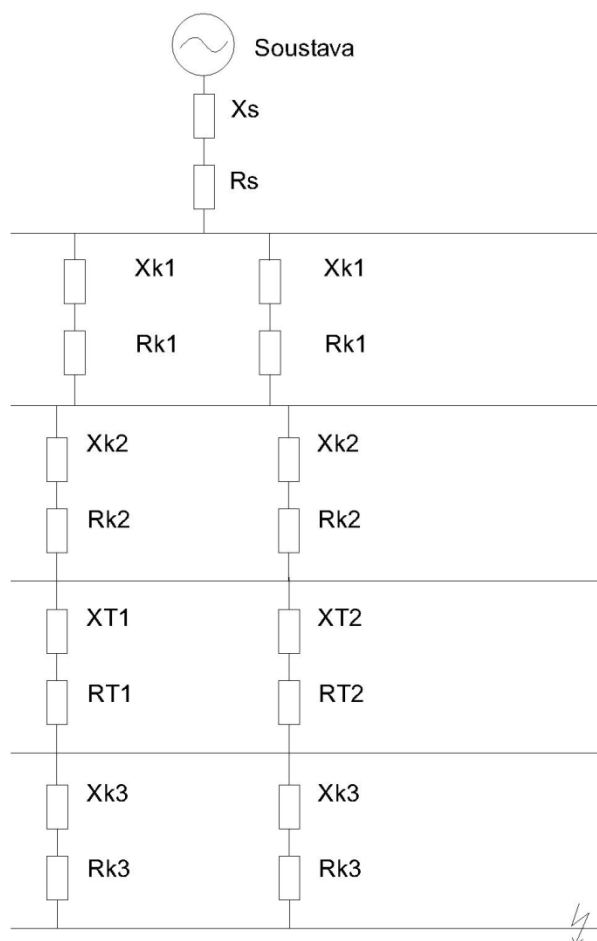
Jelikož jde o hladinu napětí VN netečou zde velké proudy (maximálně 200A), tudíž zde vyhoví dle hospodárného zatížení již menší průřez kabelu. Důležité zde je dimenzování dle tepelných účinků zkratových proudů. Výpočtem bylo ověřeno, že kabel s průřezem 185mm² vyhoví tepelným účinkům zkratových proudů pro nejmenší impedanci (nejkratší kabel). Navíc pro přívody s délkou větší než 1km může být vybrán kabel menšího průřezu 150mm².

5.3.3 Výpočet rozvodny 6 kV

Pro výpočet budeme potřebovat schéma, které bude odpovídat zapojení pro zkrat na přípojnici. Pro lepší představu bude kromě schématu s náhradními impedancemi uvedeno i klasické schéma sítě.



Obr. 21 Schéma sítě při zkratu na přípojnici 6 kV



Obr. 22 Náhradní schéma sousledných impedancí

reaktance a činný odpor soustavy:

$$Z_{S1} = \frac{c \cdot U_n^2}{\sqrt{3} \cdot I_k} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_k} = \frac{1,1 \cdot 22^2}{650} = \underline{\underline{0,819 \, \Omega}}$$

přepočet na napět'ovou hladinu 6,3 kV:

$$Z_S = Z_{S1} \frac{U_{nt}^2}{U_n^2} = 0,8191 \left(\frac{6,3}{22} \right)^2 = \frac{1,1 \cdot 22^2}{650} = \underline{\underline{0,067 \, \Omega}}$$

$$X_S = 0,995 \cdot Z_S = \underline{\underline{0,0668 \, \Omega}}$$

$$R_S = 0,1 \cdot X_S = \underline{\underline{0,0067 \, \Omega}}$$

reaktance a činný odpor transformátorů:

$$Z_T = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{4,5 \cdot 6,3^2}{100 \cdot 4} = \underline{\underline{0,447 \, \Omega}}$$

$$R_T = \frac{P_{knT} \cdot U_{nT}^2}{S_{nT}^2} = \frac{0,032 \cdot 6,3^2}{4^2} = \underline{\underline{0,079 \, \Omega}}$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{0,447^2 - 0,079^2} = \underline{\underline{0,44 \, \Omega}}$$

reaktance a činný odpor kabelů:

Tab. 9 Parametry kabelu AXEKCE

parametry kabelu			
typ kabelu	průřez kabelu (mm ²)	činný odpor R (Ω/km)	reaktance X (Ω /km)
22-AXEKCE	185	0,164	0,16
22-AXEKCE	185	0,164	0,16
10-AXEKCE	240	0,125	0,15

$$X_{1kab} = X_{kk1} \cdot l_{k1} = 0,16 \cdot 0,25 \cdot \left(\frac{6,3}{22} \right)^2 = \underline{\underline{0,0033 \, \Omega}}$$

$$R_{1kab} = R_{kk1} \cdot l_{k1} = 0,164 \cdot 0,25 \cdot \left(\frac{6,3}{22} \right)^2 = \underline{\underline{0,0034 \, \Omega}}$$

$$X_{2kab} = X_{kk2} \cdot l_{k2} = 0,16 \cdot 0,02 \cdot \left(\frac{6,3}{22}\right)^2 = \underline{\underline{0,000262 \Omega}}$$

$$R_{2kab} = R_{kk2} \cdot l_{k2} = 0,164 \cdot 0,02 \cdot \left(\frac{6,3}{22}\right)^2 = \underline{\underline{0,000269 \Omega}}$$

$$X_{3kab} = X_{kk3} \cdot l_{k3} = 0,15 \cdot 0,02 = \underline{\underline{0,003 \Omega}}$$

$$R_{3kab} = R_{kk3} \cdot l_{k3} = 0,125 \cdot 0,02 = \underline{\underline{0,0025 \Omega}}$$

výsledná impedance:

$$Z_6 = \sqrt{\left(R_s + \frac{R_{kab1}}{2} + \frac{R_{kab2}}{2} + \frac{R_{kab3}}{2} + \frac{R_T}{2}\right)^2 + \left(X_s + \frac{X_{kab1}}{2} + \frac{X_{kab2}}{2} + \frac{X_{kab3}}{2} + \frac{X_T}{2}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(0,0067 + \frac{0,0034}{2} + \frac{0,000269}{2} + \frac{0,0025}{2} + \frac{0,079}{2}\right)^2 + \left(0,0668 + \frac{0,0033}{2} + \frac{0,000262}{2} + \frac{0,003}{2} + \frac{0,44}{2}\right)^2} = \underline{\underline{0,294 \Omega}}$$

počáteční rázový zkratový proud:

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_6|} = \frac{1,1 \cdot 6,3}{\sqrt{3} \cdot 0,294} = \underline{\underline{13,62 \text{ kA}}}$$

nárazový zkratový proud

$$i_p = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,7 \cdot \sqrt{2} \cdot 13,62 = \underline{\underline{32,7 \text{ kA}}}$$

[10] [5]

5.3.4 Návrh kabelů pro hladinu VN 6 kV

Jmenovitý odběr proudu na straně 6 kV je 519 A, nejbližší hodnota z řady je 630 A. Přívod je ze 2 transformátorů, tudíž se proud rozdělí na polovinu tj. 315 A

Volím kabel 10-AXEKCE – 240 mm²

- R_k=0,125 Ω/km
- X_k=0,16 Ω/km
- v=90°C
- v=250°C

Parametry kabelu:

ρ_{20}odpor při teplotě 20°C [$\Omega\text{mm}^2/\text{m}$] = 0,02941

ν_ffiktivní teplota [$^{\circ}\text{C}$] = 228

c_0specifické teplo [$\text{J}/\text{cm}^3/^{\circ}\text{C}$] = 2,417

ν_1maximální provozní teplota vodiče [$^{\circ}\text{C}$] = 90

ν_kmaximální teplota vodiče při zkratu [$^{\circ}\text{C}$] = 250

[12]

1. Dimenzování z hlediska hospodárnosti

Z hlediska hospodárnosti budeme předpokládat normální provoz (rozdělení proudu rovnoměrně na oba přívody).

$$\text{zatížení} = \frac{I_p}{I_{dov}} \cdot 100 = \frac{315}{583} \cdot 100 = \underline{\underline{54\%}}$$

normální provoz

Nesplňuje podmínku zatížení < 50% při normálním provozu, ale vzhledem k předdimenzování na hodnotu jmenovitého proudu 630A, bude takhle velké zatížení pouze ve špičce. Pro průměrný odběr bude zatížení < 50%.

2. Dimenzování podle tepelných účinků zkratového proudu

náhradní zkratová impedance:

$$Z_c = Z_s + Z_k = \sqrt{\left(R_s + \frac{R_k}{2}\right)^2 + \left(X_s + \frac{X_k}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(0,0815 + \frac{0,0313}{2}\right)^2 + \left(0,815 + \frac{0,04}{2}\right)^2} = \underline{\underline{0,841 \Omega}}$$

Počáteční rázový zkratový proud pro 3-f zkrat:

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot Z_c} = \frac{1,1 \cdot 6300}{\sqrt{3} \cdot 0,294} = \underline{\underline{13,62 \text{ kA}}}$$

Ekvivalentní oteplovací proud:

$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{m+n} = 13,62 \cdot \sqrt{1} = \underline{\underline{13,62 \text{ kA}}}$$

Minimální zkratový průřez S_{\min}

$$S_{\min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{\sqrt{\frac{c_0 \cdot 20 + g_f}{\rho_{20}} \ln \frac{g_f + g_k}{g_f + g_1}}} = \frac{13,62 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1}}{\sqrt{\frac{2,417 \cdot (20 + 228)}{2941 \cdot 10^{-5}} \cdot \ln \left(\frac{228 + 250}{228 + 90} \right)}} = \frac{13,62 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1}}{92} = \underline{\underline{148 \text{ mm}^2}}$$

[4] [10]

Kabel AXEKCE 240mm² vyhoví, dle tepelných účinků zkratového proudu.

6 Konkrétní návrh rozváděčů VN

Výběr rozváděčů SM6 24 společnosti Schneider electric

Parametry:

- jmenovitý proud I_n : 400 - 630 - 1250 A,
- jmenovité napětí U_n : 7,2 - 12 - 17,5 - 25 kV,
- maximální krátkodobý výdržný proud I_k : 12,5 - 16 - 20 - 25 kA / 1 s,
- ochrana proti vnitřním obloukům IAC: - 16 kA 1 s.

Z parametrů rozváděčů SM6 24 vyplývá, že na hladině 22 kV bude nutné volit vypínače SF6 a na hladině 6,3 kV již bude možné volit vakuové vypínače. Z vypočtených zkratových proudů pro rozvodnu 22 kV, kde je počáteční rázový zkratový proud 16,6 kA budu volit přístroje z řady 20 kA. Pro rozvodnu 6,3 kV, kde je velikost počátečního rázového zkratového proudu, 13,6 kA budu volit přístroje z řady 16 kA.

Podle doporučení dle ČSN 33 3051, se budou transformátory do výkonu 1 MVA jistit na primární straně pojistkou a odpínačem. Transformátory TR1 a TR2 (4MVA) se budou jistit pomocí výkonových vypínačů. [11]

Technické specifikace některých přístrojů použitých ve skříních SM6 24

Relé pro indikaci napětí VD23

- VD 23 je kompaktní relé, které slouží k indikaci napětí ve VN sítích od 3 do 38,5 kV, 50/60 Hz s automatickým přizpůsobením napětí sítě.
- Využívá signálu kapacitních děličů přes indikátor napětí VPIS-VO

Aplikace založené na detekci přítomnosti napětí - ztráta napětí aktivuje výstup relé R1

- Automatický záskok
- Alarmy ztráty napětí
- Automatiky ztráty napětí

Aplikace založené na detekci nepřítomnosti napětí

- Blokování uzemňovače na přítomnost napětí
- Alarmy přítomnosti napětí

Detekce napětí - pomocí dvou výstupních relé

- R1 - přítomnost napětí
- R2 - nepřítomnost napětí. [7]

Ochrany Sepam 20, 40

Tyto ochrany jsou proudové, napěťové a frekvenční.

- Ochrana rozvoden (přívody, vývody a přípojnice)
- Ochrana transformátorů
- Ochrana motorů a generátorů

Proudové snímače

Ochrany sepam se kombinují s proudovými snímači s napěťovým výstupem LPCT (Lower Power Current Transformer)

Typy pojistek

Na výběr jsou zde 2 typy pojistek

- Solefuse v souladu se standardem UTE NFC 64.210
- Fusarc CF v souladu s doporučením IEC60.282.1

Zvoleny budou pojistky Solefuse. [6]

6.1 Výběr jednotlivých skříní

Budou vybrány celkem 4 typy skříní. Kromě přírodních budou skříně totožné pro rozvodnu 22 i 6 kV, výběr přístrojů bude ovšem různý. Níže bude uvedena výzbroj jednotlivých skříní. Na žádost zadavatele budou pro jištění napájení rozvodny použity pevné výkonové vypínače s odpojovačem, jako druhá možnost by zde mohli být použity výsuvné vypínače. Pro skříně přírodní a vývodové s výkonovým vypínačem budou použity 2 PTP stejně jako pro skříně měření. Pro vývodové skříně s odpojovačem a pojistkou bude použit pouze 1 PTP pro měření.

6.1.1 Rozvodna 22 kV

Přírodní - DM1-A

Skříň DM1-A, čili SF6 vypínač zde bude vybrán, z důvodu bezpečnosti a důležitosti přívodu. Vakuový vypínač zde nemůže být použit, jelikož je schopen bezpečně vypnout pouze napětí do velikosti 17,5 kV.

- 1 x odpojovač
- 1 x SF6 vypínač
- 2 x PTP
- 1 x uzemňovač
- 1 x indikátor napětí
- ochrany sepam 20

Měření - GBC-B

Skříň měření volím za každým přívodem z důvodu provozní bezpečnosti, tyto skříně budou měřit napětí a proud přímo na přípojnicí. Ve skříní budou jak přístrojové transformátory proudu (PTP), tak přístrojové transformátory (PTN)

- 2 x PTP
- 3 x PTN

Vývodové – QMC

Pro jednotlivé vývody volím skříň s kombinací odpínače a pojistky, hlavním důvodem je cena. Jednotlivé vývody není nutné jistit výkonovými vypínači, protože výpadek 1 vývodu není tak závažný jako výpadek napájení celé rozvodny. Pokud by byl požadavek na co nejbezpečnější návrh, nebo by byl kladen velký důraz na každý vývod, bylo by nutné použít výkonové vypínače. Dalším důvodem je jištění transformátorů podle doporučení normy ČSN 33 3051, kde dostačují pojistky do výkonu 1,6 MVA. Nevýhoda pojistek je sice, že při poruše v 1 fázi vypnou pouze poškozenou fázi, ale v kombinaci s odpínačem zajistí odpínač vypnutí všech fází.

- 1 x odpínač
- 1 x PTP
- 1 x uzemňovač
- 1 x indikátor napětí
- 3 x pojistky VN

6.1.2 Rozvodna 6 kV

Přívodní - DMV-A

Skříň DMV-A, čili vakuový vypínač zde volím, z důvodu bezpečnosti a důležitosti přívodu. Zde již může být použit vakuový vypínač, díky menší hladině napětí.

- 1 x odpojovač
- 1 x vakuový vypínač
- 2 x PTP
- 1 x uzemňovač
- 1 x indikátor napětí
- ochrany sepam 20

Měření - GBC-B

Stejně jako u rozvodny 22 kV budou i zde skříně měření umístěny vedle přívodů.

- 2 x PTP
- 3 x PTN

Vývodové – QMC

Pro jednotlivé vývody bude opět vybrána skříň s kombinací odpínače a pojistky stejně jako pro rozvodnu 22 kV.

- 1 x odpínač
- 1 x PTP
- 1 x uzemňovač
- 1 x indikátor napětí
- 3 x pojistky VN

6.2 Výběr přístrojů

Výběr přístrojů bude realizován podle jmenovitého napětí dané rozvodny, jmenovitého proudu a zkratových proudů.

6.2.1 Rozvodna 22 kV

Přívodní skříň - DM1-A

Proud přívodem je 293 A, tudíž budou všechny přístroje v přívodních skříních dimenzované na nejbližší hodnotu jmenovitého proudu z řady a to 400 A. Jmenovitý dynamický proud je 40 kA.

Návrh odpojovače

- Maximální napětí 25 kV,
- jmenovitý proud 400A,
- jmenovitý krátkodobý proud 20 kA
- jmenovitý dynamický proud 40 kA.

Návrh jištění - SF6 vypínač

- Maximální napětí 25 kV,
- jmenovitý proud 630 A,
- jmenovitý krátkodobý proud 20 kA,
- jmenovitý dynamický proud 40 kA.

Návrh PTP - Transformátor TLP130

Pro přívodní skříň typu DM1-A, je možné zvolit ze 2 PTP. Jsou to ARM3 a TLP130. Zde je vhodné zvolit transformátor s nízkou spotřebou TLP130, který je dle katalogu výrobce vhodný kombinovat s ochranami řady sebam. Tento transformátor je typu LPCT viz úvod kapitoly.

- Krátkodobý výdržný proud I_{th} : 25 kA
- Jmenovitý proud na primáru I_{1n} : 100-1250 A
- Jmenovitý výstup na sekundáru U_{2n} : 22,5 mV
- Třída přesnosti: 5P

Návrh ochrany - Sepam

Zde bude zvolena ochrana řady sepam 20, pro rozvodny typu S20. Její vstup je ze snímačů LPCT.

Ovládací mechanismus

Ovládací mechanismus bude použit motorový na žádost zadavatele. Zde bude zvolen ovládací mechanismus CS.

Vývodové skříně (č. 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13) - QMC

Návrh jištění - Kombinace odpínače s pojistkou

Jako jisticí prvek zde volím kombinaci odpínače s pojistkou, vzhledem k proudovému zatížení, důležitosti provozu a ceně. Průměrný odběr jednotlivých skříní nepřekračuje 75 A, tudíž skříně vyhoví maximálnímu jmenovitému proudu 200 A.

Návrh odpínače

- Maximální napětí 24 kV,
- jmenovitý proud 400A,
- jmenovitý krátkodobý proud 20 kA
- jmenovitý dynamický proud 40 kA. [8]

Návrh pojistky

Pro jištění transformátorů v rozmezí výkonů 630-800 kVA se používají pojistky Solefuse 31,5 A. Jištění galvanovny a haly nářadí bude, vzhledem k odběru stejné.

Návrh PTP - Transformátor ARJP1 20, 30/5

Zde bude zvolen přístrojový transformátor proudu ARJP1, s různými převody podle velikosti transformátoru daného vývodu. Pro TR3, TR8 (630 kVA) a halu nářadí bude použit PTP s převodem 20/5 A. Pro TR10, TR12, TR14 (800 kVA) a galvanovnu s převodem 30/5 A.

- Krátkodobý výdržný proud I_{th} : 25 kA
- Jmenovitý proud na primáru I_{1n} : 20/30 A
- Jmenovitý proud na sekundáru I_{2n} : 5 A
- Třída přesnosti: 0,5
- Jmenovitá zátěž: 7,5 VA

Ovládací mechanismus

CII, který slouží k dálkovému ovládání transformátorových vývodů. Mechanická indikace je zde přepálení pojistek.

Vývodové skříň (č. 14, 15) - DM1-A

Jelikož se jedná o transformátory s jmenovitým výkonem 4 MVA není zde již možné jištění pomocí pojistek. Proto zde bude použit výkonový vypínač.

Návrh odpojovače

- Maximální napětí 25 kV,
- jmenovitý proud 400A,
- jmenovitý krátkodobý proud 20 kA
- jmenovitý dynamický proud 40 kA.

Návrh jištění - SF6 vypínač

- Maximální napětí 25 kV,
- jmenovitý proud 630 A,
- jmenovitý krátkodobý proud 20 kA,
- jmenovitý dynamický proud 40 kA.

Návrh PTP - Transformátor TLP130

Pro vývodní skříň typu DM1-A, bude zvolen přístrojový transformátor TLP130 stejně jako pro přívodní skříň, vzhledem k použití stejného vypínače.

- Krátkodobý výdržný proud I_{th} : 25 kA
- Jmenovitý proud na primáru I_{1n} : 100-1250 A
- Jmenovitý výstup na sekundáru U_{2n} : 22,5 mV
- Třída přesnosti: 5P

Návrh ochrany - Sepam

Zde bude zvolena ochrana řady sepam 20, pro transformátory typu T20. Její vstup je ze snímačů LPCT.

Ovládací mechanismus

Zde bude zvolen ovládací mechanismus CS.

Skříň měření - GBC-B

Skříň měření, budou kontrolovat napětí a proudy na přípojnicích, umístěny budou hned za přívody.

Návrh PTP - Transformátor ARM3

Měřicí skříně budou měřit napětí a proud přímo na přípojnici, takže musí být dimenzovány na její jmenovitou hodnotu proudu.

- Krátkodobý výdržný proud I_{th} : 25 kA
- Jmenovitý proud na primáru I_{1n} : 400 A
- Jmenovitý proud na sekundáru I_{2n} : 5 A
- Třída přesnosti: 0,5
- Jmenovitá zátěž: 7,5 VA

Návrh PTN - Transformátor VRQ2

- Jmenovité napětí: 25 kV
- Napětí na primáru: $22/\sqrt{3}$ kV
- Napětí na sekundáru: 100 V
- Třída přesnosti: 0,5/5P
- Jmenovitá zátěž: 30 VA

[9]

6.2.2 Rozvodna 6 kV

Přívodní skříně - DMV-A

Proud přívodem je 525 A, tudíž budou všechny přístroje v přívodních skříních dimenzované na nejbližší hodnotu jmenovitého proudu z řady a to 630 A. Krátkodobý proud 16kA. Jmenovitý dynamický proud 40 kA.

Návrh odpojovače

- Maximální napětí 7,2 kV,
- jmenovitý proud 630A,
- jmenovitý krátkodobý proud 16 kA
- jmenovitý dynamický proud 40 kA.

Návrh jištění - Vakuový vypínač

- Maximální napětí vypínače 7,2 kV,
- jmenovitý proud 630A,
- jmenovitý krátkodobý proud 25 kA
- jmenovitý dynamický proud 40 kA.

Návrh PTP - Transformátor ARJP2

Zde je na výběr pouze 1 PTP pro danou skříň podle katalogu Schneider electric.

- Krátkodobý výdržný proud I_{th} : 25 kA
- Jmenovitý proud na primáru I_{1n} : 600 A
- Jmenovitý proud na sekundáru I_{2n} : 5/5 A
- Třída přesnosti: 0,5/5P20
- Jmenovitá zátěž: 20/7,5 VA

Ovládací mechanismus

Zde bude zvolen ovládací mechanismus CIT.

Skříň měření - GBC-B

Pro tyto skříně je možnost volby mezi 2 PTP. Vybrán bude typ ARM3, ke kterému je podrobnější dokumentace a odpovídá požadovaným parametrům.

Návrh PTP - Transformátor ARM3

- Krátkodobý výdržný proud I_{th} : 25 kA
- Jmenovitý proud na primáru I_{1n} : 600 A
- Jmenovitý proud na sekundáru I_{2n} : 5/5 A
- Třída přesnosti: 0,5/5P15
- Jmenovitá zátěž: 7,5/5 VA

Návrh PTN - Transformátor VRQ2

Zde už je široký výběr PTN, celkem je možné vybrat ze 4 typů. Vybrán bude typ VRQ2, který nejvíce splňuje požadované parametry.

- Jmenovité napětí: 25 kV
- Napětí na primáru: $10/\sqrt{3}$ kV
- Napětí na sekundáru: $100/\sqrt{3}$ V
- Třída přesnosti: 0,5
- Jmenovitá zátěž: 30 VA

Vývodové skříň - QMC

Návrh jištění - Kombinace odpínače s pojistkou

Jako jistící prvek zde volím kombinaci odpínače s pojistkou, ze stejných důvodů jako pro hladinu napětí 22 kV.

Návrh odpínače

- Maximální napětí 12 kV,
- jmenovitý proud 400A,
- jmenovitý krátkodobý proud 16 kA
- jmenovitý dynamický proud 40 kA. [8]

Návrh pojistky

Pro jištění transformátorů o výkonu 400 kVA (TR7) se používají pojistky Solefuse 63 A. Jištění transformátorů o výkonech 800 a 1000 kVA (TR4, TR5, TR6, TR9, TR11, TR13) bude realizováno pojistkami Solefuse 125 A.

Návrh PTP - Transformátor ARJP1 30, 75, 100/5

Zde bude zvolen přístrojový transformátor proudu ARJP1, s různými převody podle velikosti transformátoru daného vývodu. Pro TR7 400 kVA (skříň č. 18) bude použit PTP s převodem 30/5 A. Pro TR6, TR11, TR13, TR15 800 kVA (skříň č. 20, 21, 22, 28) s převodem 75/5 A. Pro TR4, TR 5 a TR9 1000 kVA (skříň č. 19, 26, 27) s převodem 100/5 A.

- | | |
|---|-------------|
| • Krátkodobý výdržný proud I_{th} : | 25 kA |
| • Jmenovitý proud na primáru I_{1n} : | 30/75/100 A |
| • Jmenovitý proud na sekundáru I_{2n} : | 5 A |
| • Třída přesnosti: | 0,5 |
| • Jmenovitá zátěž: | 7,5 VA |

[9]

Ovládací mechanismus

CI1, který slouží k dálkovému ovládání transformátorových vývodů. Mechanická indikace je zde přepálení pojistek.

6.3 Porovnání stávajícího a nového provedení rozvodny

6.3.1 Stávající stav - kobky

Stávající stav se skládá ze starých přístrojů, kabelů a v neposlední řadě z výkonově nedostačujících transformátorů. Transformátory jak již bylo zmíněno v rozboru jsou staré a mají zvýšené ztráty, navíc jsou značně přetěžovány, tudíž zde vznikají přidané ztráty tj. neekonomický provoz rozvodny. Co se týče zkratových proudů na přípojnicí 22 kV vychází $I_k''=16,8$ kA a na přípojnicí 6 kV $I_k''=5,9$ kA. Malý zkratový proud na přípojnicí 6 kV je způsobený malým výkonem (velkou zkratovou impedancí) transformátorů.

6.3.2 Stav po rekonstrukci - rozváděče VN

Rekonstrukce se bude skládat z celkového předělání rozvodny tedy i ze stavební části. Výhoda použití VN rozváděčů je cena, menší zastavěná plocha, možnost snadného rozšíření a zvýšená provozní bezpečnost. Použitím výkonnějších transformátorů nám klesne reaktance a tím nám značně narostou zkratové proudy, ovšem jejich hodnota bude stále v normě pro použití rozváděčů SM6 24. Zkratové proudy s použitím nových kabelů a transformátorů budou pro 22 kV přípojnicí $I_k''=16,6$ kA

a pro 6,3 kV $I_k''=13,6$ kA. Z daných výsledků vidíme, že zkratové proudy na přípojnici 22 kV se nám změni minimálně pouze vlivem nových kabelů, ale zkratové proudy na přípojnici 6,3 kV nám značně narostou. Dále je důležité si všimnout změny hladiny napětí z původních 6 kV na 6,3 kV, to je způsobeno novými transformátory. Z uvedených změn nám vyplývá velká investice, ale díky ní bude zajištěn hospodárný provoz a snadná obsluha rozvodny (dálkově).

Závěr:

Diplomová práce měla za úkol navrhnout rekonstrukci stávajících rozvodů 22 a 6 kV, které se nachází v Opavě. Šlo o starší rozvodny, které nutně potřebovaly rekonstrukci z důvodu optimalizace nových požadavků jednotlivých odběrů. V úvodu práce bylo nutné nastínit problematiku průmyslových rozvodů a situaci stavů stávajících zařízení. První věc, která byla nutná udělat, byl výpočet zkratových poměrů stávajících rozvodů, a tím zjistit vhodnou variantu rekonstrukce. Počáteční souměrné zkratové proudy pro stávající stav byly $I_{k3}''=16,8$ kA pro rozvodnu 22 kV a $I_{k3}''=5,9$ kA pro rozvodnu 6 kV. Z provedených výpočtů jsem uvedl 3 nejčastější varianty rekonstrukcí (zachování kobkové rozvodny s výměnou stávajících přístrojů, nový návrh rozvodny pomocí rozváděčů VN a nakonec zmenšení velikosti zkratových proudů) a vybral jeden z nich. Poslední možnost se používá velice často, já ji nepoužil z důvodu přiměřené velikosti zkratových proudů. Jako důležitá část rekonstrukce se jevil návrh nových transformátorů 22/6,3 a 6,3/1 kV. Tyto transformátory nebyly optimálně zatížené, navíc vykazovaly zvýšené ztráty stářím materiálu. Při jejich navrhování jsem vycházel z naměřených hodnot tj. průměrného odběru. V návrhu nových transformátorů jsem již počítal s rezervou do budoucna, takže případnému zvýšení odběrů by návrh měl vyhovět. Po výběru nových transformátorů byl proveden výpočet zkratových proudů s nově navrženými transformátory včetně nových kabelů. Tento výpočet sloužil pro výběr rozváděčů VN a jejich výzbroje. Požadavek zadavatele byl použit rozváděče firmy Schneider electric, z kterých jsem vybral typ SM6 24, používaný do velikosti napětí 25 kV. Výsledná velikost počátečních rázových zkratových proudů jsou pro rozvodnu 22 kV $I_{k3}''=16,6$ kA a pro rozvodnu 6 kV $I_{k3}''=13,6$ kA. S ohledem na velikost těchto proudů jsem vybral přístroje jednotlivých rozváděčů. Rozváděče a přístroje jsem vybral s ohledem na cenu, provozní bezpečnost a spolehlivost rozvodny. Pro úplný návrh rekonstrukce jsem navrhl i schéma rozvodny, které je v příloze. Na závěr jsem provedl srovnání stávajícího a nového stavu rozvodny.

Použitá literatura

- [1] PAUZA, Josef. *Silnoproudá rozvodná zařízení v průmyslu*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1974
- [2] KRYCHTÁLEK, Zbyněk a Josef PAUZA. *Elektrické stanice*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989. ISBN 80-03-00075-0.
- [3] *Druhy elektrického silnoproudého rozvodu*. Dostupné z WWW: <http://www.tzb-info.cz/4035-druhy-elektrického-silnoproudeho-rozvodu>
- [4] ČSN-EN-60909-0 (33 3022), *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů*. Praha: ČNI, 05/2002.
- [5] MEDVEC, Zdeněk.: *Přechodné jevy v elektrizačních soustavách*, Skripta VŠB-TU Ostrava, 2001
- [6] SCHNEIDER ELECTRIC , s.r.o., *SM6-24, Modulární rozváděče do 25 kV*, 2009. Dostupné z WWW: http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=2392047&p_File_Name=S846.pdf
- [7] SCHNEIDER ELECTRIC , s.r.o., *VD23, Relé pro indikaci přítomnosti napětí*, 2010. Dostupné z WWW: http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=2472185&p_File_Name=S966-VD23.pdf
- [8] SCHNEIDER ELECTRIC , s.r.o., ISARC, *Vzduchový odpínač do 24 kV*. Dostupné z WWW: <http://www.schneider-electric.com/products/sk/sk/3200-vn-odpojovace-spinace-odpinace-reclosery/3210-odpinace-pre-vnutorne-pouzitie/60694-isarc/>
- [9] SCHNEIDER ELECTRIC , s.r.o., *Indoor instrument transformers*, 2012. Dostupné z WWW: http://ms.schneider-electric.be/Main/TI_TP/catalogue/amted300031UK.pdf
- [10] *Silové kabely s izolací ze zesíťného polyetylénu*. Dostupné z WWW: <http://www.nktcables.com/cz/products/medium-voltage/mv-cables-acc--to-tp/>
- [11] ČSN 33 3051, *Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení*. Federální úřad pro normalizaci a měření. 1992.
- [12] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení*. Brno : [s.n.], [2008]. Dostupný z WWW: https://home.pilsfree.net/fantom/FEL/!SZZ_2010/Rozvodna_zarizeni.pdf